



Facultad De Ingeniería Y Computación

Escuela Profesional De Ingeniería Industrial

**“Aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica
para la optimización del proceso de enfriamiento de
leche cruda en proveedores y cales”**

Presentado por:

Piero Mishell Cruz Velasquez

David Gustavo Arias Chipana

Para optar por el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Orientador: Jairzinho Javier Cayro Chávez

Arequipa, 07 de Octubre del 2019”

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos acompañado a lo largo de todo este proceso académico y por ser la luz que nos guía en nuestras vidas.

A nuestros padres y hermanos por su apoyo incondicional y por ser nuestra mayor fuente de inspiración.

Gracias a la Universidad Católica San Pablo por habernos brindado el conocimiento necesario para la realización de esta tesis

Agradecemos al Dc. Jarinzinho Javier Cayro Chavez y al Ing. Iván Rodríguez Valdivia, quienes nos guiaron de principio a fin en la realización de esta investigación

Y a todo aquel que de alguna u otra forma nos apoyaron brindándonos consejos o compartiendo conocimientos en todo este proceso.

RESUMEN

Actualmente existen tres importantes sistemas de enfriamiento para la leche como los bancos de hielo, los tanques de enfriamiento y los Chiller de enfriamiento. La propuesta de esta tesis está en usar Ice Slurry para enfriar la leche por medio de intercambiadores de calor con el objetivo de optimizar costos, productividad y calidad.

Ice Slurry es una solución acuosa con partículas de hielo diminutas, el cual ha venido siendo objeto de estudio en distintas investigaciones relacionadas a los procesos de enfriamiento y refrigeración. La razón de que atraiga gran interés, es que cuenta con características únicas para su uso en la transferencia de calor 1,5 a 2 veces mayor que cualquier fluido monofásico (Grozdek, 2009, p 80). Estas características unidas a la facilidad de ser bombeado como cualquier líquido dan la posibilidad de aplicación al momento de enfriar. De esta forma, el presente estudio se centra en buscar la forma óptima de poder utilizar Ice Slurry como una alternativa de enfriamiento de leche cruda; para esto se adaptó una planta piloto en las instalaciones de Agroindustrial del Perú ubicada en el distrito de Pedregal-Majes en la Región Arequipa. Los resultados del estudio ayudarán a empresas y proveedores del sector lácteo a tener alternativas para mejorar la productividad en sus procesos de enfriamiento de leche, ya que se verán resultados directos en la calidad de los lácteos, reducción de los costos operativos y el incremento en ingresos por pago de leche con mejor calidad microbiológica, ya que al enfriar de forma eficiente se limita el crecimiento y reproducción bacteriana.

PALABRAS CLAVE

Enfriamiento; Ice Slurry; leche Cruda

ABSTRACT

There are currently three important cooling systems for milk such as ice banks, cooling tanks and cooling chillers. The proposal of this thesis is to use Ice Slurry to cool the milk by means of heat exchangers in order to optimize costs, productivity and quality.

Ice Slurry is an aqueous solution with tiny ice particles, which has been the object of study in various investigations related to cooling and cooling processes. The reason that it attracts great interest is that it has unique characteristics for use in heat transfer 1.5 to 2 times higher than any single phase fluid (Grozdek, 2009, p 80). These characteristics combined with the ease of being pumped as any liquid give the possibility of application at the time of cooling. In this way, the present study focuses on finding the optimal way to use Ice Slurry as a cooling alternative for raw milk; for this a pilot plant was adapted in the Agroindustrial del Perú facilities located in the district of Pedregal-Majes in the Arequipa Region. The results of the study will help companies and suppliers of the dairy sector to have alternatives to improve the productivity of their milk cooling processes, since they will see direct results in the quality of dairy products, reduction of operating costs and increase in income for payment of milk with better microbiological quality, since when cooling efficiently, bacterial growth and reproduction is limited.

KEYWORDS

Cooling; Ice Slurry; Raw milk

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Descripción del Problema	4
1.2. Formulación del Problema	7
1.3. Sistematización del Problema	7
2. OBJETIVOS	7
2.1. Objetivo General	7
2.2. Objetivos Específicos	8
3. JUSTIFICACIÓN	8
3.1. Justificación Teórica	8
3.2. Justificación Metodológica	9
3.3. Justificación Práctica	9
4.1. Delimitación Temática	10
4.2. Delimitación Geográfica	10
4.3. Delimitación Temporal	10
CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO	11

1. Antecedentes de la Investigación	11
2. Marco Teórico Conceptual	16
2.1 La Leche.....	16
2.1.1. Propiedades físicas y térmicas	17
2.1.1.1. Densidad	17
2.1.1.2. Viscosidad.....	18
2.1.1.3. Calor específico	19
2.1.1.4. Conductividad Térmica.....	20
2.1.1.5. Punto de Congelamiento	21
2.1.1.1. Resistencia al Ensuciamiento.....	22
2.1.2. Calidad de la Leche.....	24
2.1.2.1. Calidad Higiénica.....	26
2.1.2.2. Pagos en base a la calidad higiénica de leche	27
2.2 Sistemas de refrigeración	29
2.2.1. Conceptos involucrados en los sistemas de Refrigeración y Enfriamiento	30
2.2.2. Tipos de Sistemas de Refrigeración	31
2.2.3. Componentes fundamentales de un Sistema de Refrigeración	32
2.2.4. El proceso de enfriamiento de la leche Cruda.....	38
2.2.4.1. Enfriamiento de la Leche Cruda	39
2.2.4.2. Buenas Prácticas en el enfriamiento de la leche	39
2.2.4.3. Pre - enfriamiento de la Leche Cruda	40

2.2.4.4.	Intercambiadores de Calor	42
2.2.4.4.1.	Intercambiadores de Calor de Placas	43
2.2.4.5	Principales sistemas de enfriamiento de Leche	47
2.2.4.5.1.	Chiller	47
2.2.4.5.1.1.	Funcionamiento de un sistema Chiller.....	48
2.2.4.5.1.2.	Tipos de sistema Chiller.....	48
2.2.4.5.2.	Banco de hielo.....	49
2.2.4.5.2.1.	Funcionamiento.....	50
2.2.4.5.3.	Panzas Frías	51
2.2.5.	Fluidos Refrigerantes	53
2.2.5.1.	Fluidos Refrigerantes Primarios	53
2.2.5.2.	Fluidos Refrigerantes Secundarios	54
2.3	Ice Slurry.....	55
2.3.1.	Propiedades fisicoquímicas de Ice Slurry	56
2.3.1.1.	Densidad	56
2.3.1.2.	Viscosidad.....	58
2.3.1.3.	Punto de Congelamiento	59
2.3.1.4.	Calor Específico.....	60
2.3.1.5.	Concentración de hielo	62
2.3.1.6.	Calor Latente de fusión.....	64
2.3.1.7.	Conductividad Térmica.....	65

2.3.2.	Situación Actual del uso de los Sistemas de enfriamiento con Ice Slurry	67
2.3.2.1.	Transporte de hielo Líquido	68
2.3.2.2.	Almacenamiento y agitación de Ice Slurry	69
2.3.2.3.	Aplicación de Ice Slurry en intercambiadores de calor	70
3.	Hipótesis o proposiciones de la investigación	71
CAPÍTULO III. ASPECTOS METODOLÓGICOS		73
1.	Modelo Conceptual.....	73
2.	Descripción del Objeto de Estudio	73
3.	Descripción del Tipo de Investigación	73
3.1.	Diseño de la Investigación	73
3.2.	Tipo de Investigación.....	74
3.3.	Métodos de Investigación	74
4.	Levantamiento de datos	75
4.1.	Técnicas de Investigación	75
4.2.	Instrumentos de Investigación	75
5.	Recolección de datos.....	81
6.	Análisis de datos	84
6.	Resumen de la Operacionalización de la Investigación	87
CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS		88
1.	Pruebas Preliminares	88
2.	Pruebas del Diseño Experimental con Arreglos Ortogonales	110

2.1.	Análisis de media y desviación Estándar	111
2.2.	Gráficas de Control	112
2.3.	Evaluación cualitativa mediante matriz de Ranking de criterio	120
2.4.	Prueba de Hipótesis.....	124
3.	Análisis de costos en base a insumos indirectos y a consumo energético.....	125
3.1.	Análisis por Facturación Eléctrica	126
3.2.	Análisis de Costos por Cantidad de Uso de Fluido Secundario.....	132
4.	Análisis Económico	134
5.	Análisis de Calidad Higiénica	137
6.	Análisis de Indicadores de Productividad	138
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		141
1.	CONCLUSIONES.	141
2.	RECOMENDACIONES.....	142
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		144
ANEXOS		155
ANEXO 1: Método Para La Selección Del Intercambiador Propuesto Por Moncada Albitres		156
ANEXO 2: Características Técnicas De Los Intercambiadores De Placas Existentes En El Mercado		159
ANEXO 3: Slurry Ice Machine Operation Instruction		161
ANEXO 4: Lista de Parámetros de Máquinas de Hielo Líquido Snowell.....		162
ANEXO 5: Metodología Arreglos Ortogonales		163

ANEXO 6: Factor de Potencia para media tensión otorgado por la empresa Distribuidora de Energía (SEAL)	164
ANEXO 7: Pliego Tarifario para Media Tensión (SEAL)	166
ANEXO 8: Pliego Tarifario para Agua Potable (SEDAPAR).....	167
ANEXO 9: Cotización Sal Industrial.....	168
ANEXO 10: Informe de Ensayo de Calidad Higiénica	170
APÉNDICES.....	172
APÉNDICE 1: Entrevista A Expertos	173
APÉNDICE 2: Matriz De Consistencia	182
APÉNDICE 3: Formatos De Fichas De Observación Y Formatos Elaborados Para El Registro De Los Experimentos.....	183
APÉNDICE 4: Cálculos Termodinámicos.....	185
APÉNDICE 5: Sistema Piloto Propuesto	202
APÉNDICE 6: Formatos De Las Guías De Pautas.....	204
APÉNDICE 7: Operacionalización De La Investigación	205
APÉNDICE 8: Recursos necesarios por cada tecnología de enfriamiento.....	208
APÉNDICE 9: Cuadros detallados de ingresos y egresos	211

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva de Congelación típica de un producto alimenticio	30
Figura 2: Esquema de funcionamiento de Sistema de refrigerante Secundario.....	32
Figura 3: Ciclo de Refrigeración de Carnot, Relación Presión- Temperatura y Relación	

Temperatura- Entropía	33
Figura 4: Evaporador de un sistema de generación de Ice Slurry tipo rascador.....	38
Figura 5: Esquema del funcionamiento del pre-enfriamiento de la leche cruda.....	41
Figura 6: Sistemas de enfriamiento en carrera contra reloj	43
Figura 7: Partes de la armazón de un intercambiador de placas	44
Figura 8: Comparación de costos para intercambiadores	46
Figura 9: Esquema de partes y funcionamiento de un Banco de Hielo	51
Figura 10: Tanque de expansión directa (panza fría).....	52
Figura 11: Esquema de funcionamiento básico de un sistema de refrigeración secundario....	54
Figura 12: Densidad en función de temperatura para Ice Slurry y fluidos de fase simple de soluciones acuosas.	57
Figura 13: Variación de la densidad del hielo líquido con la temperatura para varias concentraciones de NaCl.....	57
Figura 14: Variación de la viscosidad cinética respecto a la temperatura para distintos tipos de anticongelantes usados en la generación de Ice Slurry	58
Figura 15: Temperatura de Puntos de congelamiento para distintas concentraciones de aditivo.	60
Figura 16: Concentración de hielo de Ice Slurry en función a la temperatura de la solución, con respecto a distintos porcentajes de Propilenglicol.	63
Figura 17: Concentración de hielo de Ice Slurry en función a la temperatura de la solución, con respecto a distintos porcentajes de NaCl.....	63
Figura 18: Relación entre el calor latente y la concentración de hielo en un Ice Slurry a base de NaCl.	64
Figura 19: Relación entre el calor latente y la concentración de hielo de un Ice Slurry hecho en base a una Solución de Propilenglicol.	65

Figura 20: Variación de la conductividad térmica de ice Slurry con la temperatura para varias concentraciones iniciales de NaCl	66
Figura 21: Variación de la conductividad térmica de ice Slurry con la temperatura para varias concentraciones iniciales de Propilenglicol.	67
Figura 22: Máquina Generadora de Ice Slurry Snowell SSL-2T.....	77
Figura 23: Tanques para almacenamiento de Ice Slurry.....	79
Figura 24: Termómetros para toma de temperaturas de los fluidos.....	79
Figura 25: Flujómetros del sistema propuesto	80
Figura 26: Variador de Potencia para las bombas	80
Figura 27:: Gráfica de control y análisis del Arreglo 1	113
Figura 28: Gráfica de control y análisis del Arreglo 2.....	114
Figura 29: Gráfica de control y análisis del Arreglo 3.....	115
Figura 30: Gráfica de control y análisis del Arreglo 4.....	116
Figura 31: Gráfica de control y análisis del Arreglo 5.....	117
Figura 32: Gráfica de control y análisis del Arreglo 6.....	118
Figura 33: Gráfica de control y análisis del Arreglo 7.....	119
Figura 34: Gráfica de control y análisis del Arreglo 8.....	120
Figura 35: Diagrama de Bloques de la propuesta	123
Figura 36: Estadística del análisis de la hipótesis	124
Figura 37: Distribución de los datos para la Temperatura media del Arreglo 3.....	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Algunas Propiedades fisicoquímicas de diferentes tipos de leche.....	17
Tabla 2 Viscosidad de la Leche (centipoises) para distintas temperaturas	19
Tabla 3 Conductividad térmica de distintos líquidos.....	21

Tabla 4 Punto de Congelamiento de alimentos comunes	22
Tabla 5 Factores de ensuciamiento para intercambiadores de placas PHE	23
Tabla 6 Resistencias a la incrustación sugeridas para diseño de intercambiadores de placas .	24
Tabla 7 Criterios de Calidad y factores que se evalúan en la leche Cruda	25
Tabla 8 Clasificación de la leche cruda de acuerdo al contenido de microorganismos según ISO <i>Clasificación de la leche cruda de acuerdo al contenido de microorganismos según ISO</i> 8553.....	28
Tabla 9 Clasificación, Bonificaciones y Descuento según UFC/mL de Leche Cruda	28
Tabla 10 Tipos de Compresores y su aplicación	34
Tabla 11 Clasificación y sub-clasificación de los principales evaporadores	37
Tabla 12 Temperaturas de almacenaje de energías para distintos propósitos	50
Tabla 13 Calor Específico (kJ/kgK) de soluciones acuosas (propilenglicol)	61
Tabla 14 Calor Especifico (kJ/kg°K) y propiedades de salmueras formadas a partir de NaCl	62
Tabla 15 Tipos de bombas para Ice Slurry con distintas Concentraciones de hielo	69
Tabla 16 Caudales y Potencia de las Bombas del sistema experimental	77
Tabla 17 Características del intercambiador de calor- Enfriamiento de Leche	78
Tabla 18 Características de los Tanques de Almacenamiento de Ice Slurry	78
Tabla 19 Dimensiones de las tinas del sistema propuesto para los experimentos	81
Tabla 20 Arreglo ortogonal para experimentos tipo L8 a dos niveles con cinco factores	83
Tabla 21 Arreglo ortogonal tipo L8 con los factores intervinientes en la investigación	84
Tabla 22 Criterios para el análisis y selección cualitativa	85
Tabla 23 Clasificación según UFC/mL de Leche Cruda	86
Tabla 24 Temperatura de Congelamiento al 3% Concentración de NaCl	89
Tabla 25 Temperatura de Congelamiento al 5% Concentración de NaCl	89

Tabla 26 Temperatura de Congelamiento al 10% Concentración de PG	90
Tabla 27 Temperatura de Congelamiento al 15% Concentración de PG	90
Tabla 28 Temperaturas de Congelamiento a ciertas Concentraciones de Aditivo	91
Tabla 29 Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a 45% de Concentración de hielo	92
Tabla 30 Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a 30% de Concentración de hielo	92
Tabla 31 Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a 20 % de Concentración de hielo	93
Tabla 32 Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a 15% de Concentración de hielo	93
Tabla 33 Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a 10% de Concentración de hielo	94
Tabla 34 Temperatura para Ice Slurry en base a PG a un 40% de Concentración de <i>hielo</i>	94
Tabla 35 Temperatura para Ice Slurry en base a PG a 30% de Concentración de hielo	95
Tabla 36 Temperatura para Ice Slurry en base a PG a un 20% de Concentración de hielo	95
Tabla 37 Temperatura para Ice Slurry en base a PG a un 15% de Concentración de hielo	96
Tabla 38 Temperatura para Ice Slurry en base a PG a un 10% de Concentración de hielo	96
Tabla 39 Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl y PG a ciertas Concentraciones de hielo	97
Tabla 40 Fluidez en el circuito de bombeo con Ice Slurry a 45% de concentración de hielo .	98
Tabla 41 Fluidez en el circuito de bombeo con Ice Slurry a 30% de concentración de hielo .	99
Tabla 42 Fluidez en el circuito de bombeo con Ice Slurry a 20% de concentración de hielo .	99
Tabla 43 Fluidez en el circuito de bombeo con Ice Slurry a 15% de concentración de hielo	100
Tabla 44 Fluidez en el circuito de bombeo con Ice Slurry a 10% de concentración de hielo	100
Tabla 45 Temperatura de la leche enfriada a cierta proporción de caudales de líquidos intercambiados	102
Tabla 46 Temperatura Media y DS de la leche enfriada a cierta proporción de caudales de líquidos intercambiados	102
Tabla 47 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 45% de Concentración de	

hielo.....	104
Tabla 48 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 30% de Concentración de hielo.....	104
Tabla 49 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 20% de Concentración de hielo.....	105
Tabla 50 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 15% de Concentración de hielo.....	105
Tabla 51 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 10% de Concentración de hielo.....	106
Tabla 52 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 45% de Concentración de hielo.....	106
Tabla 53 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 30% de Concentración de hielo.....	107
Tabla 54 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 20% de Concentración de hielo.....	107
Tabla 55 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 15 % de Concentración de hielo.....	108
Tabla 56 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 10 % de Concentración de hielo.....	108
Tabla 57 Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a NaCl y PG con cierto % de Concentración de hielo.....	109
Tabla 58 Matriz de Arreglo Ortogonal L8 propuesto en el diseño experimental	110
Tabla 59 Temperaturas iniciales y finales resultantes de la puesta en marcha de los experimentos	111
Tabla 60 Des. Estándar y Temperaturas Promedio de la leche fría resultantes de la puesta en	

marcha de los experimentos del arreglo L8	112
Tabla 61 Matriz de enfrentamiento para determinación del peso de cada criterio de evaluación	121
Tabla 62 Matriz de Ranking de Criterios para Arreglos 1 y 2.....	121
Tabla 63 Matriz de Ranking de Criterios para Arreglos 3 y 4.....	122
Tabla 64 Matriz de Ranking de Criterios para Arreglos 5 y 6.....	122
Tabla 65 Matriz de Ranking de Criterios para Arreglos 7 y 8.....	122
Tabla 66 Porcentaje de Producción Diaria por Ordeño	126
Tabla 67 Requerimiento de Ice Slurry para cada ordeño.....	126
Tabla 68 Producción estimada de Ice Slurry generado para cada ordeño	127
Tabla 69 Running Power para una producción de Ice Slurry en base a 3% d NaCl con 15% de concentración de hielo	127
Tabla 70 Cálculo de Potencia de Generación y Distribución para Ice Slurry	128
Tabla 71 Facturación por energía y Potencia utilizada para Ice Slurry	128
Tabla 72 Facturación por energía y Potencia utilizada mensual y anual para Ice Slurry	128
Tabla 73 Energía Activa en horas punta para una panza fría	129
Tabla 74 Cálculo de Potencia de Generación y Distribución para Panza Fría	129
Tabla 75 Facturación por energía y Potencia utilizada para Panza Fría	130
Tabla 76 Facturación por energía y Potencia utilizada mensual y anual para Panza Fría	130
Tabla 77 Runnning Power para el Banco de hielo requerido	130
Tabla 78 Cálculo de Potencia de Generación y Distribución para Banco de Hielo	131
Tabla 79 Facturación por energía y Potencia utilizada para Banco de Hielo	131
Tabla 80 Facturación por energía y Potencia utilizada mensual y anual para Panza Fría	131
Tabla 81 Facturación por energía y Potencia utilizada mensual y anual para Panza Fría	132
Tabla 82 Ahorro Ice Slurry Banks vs Panza Fría	132

Tabla 83 Ahorro Ice Slurry Banks vs Banco de Hielo.....	132
Tabla 84 Factor de flujos al utilizar Ice Slurry Banks en el enfriamiento de leche	133
Tabla 85 Costo por uso de agua al año al utilizar Ice Slurry Banks en el enfriamiento de leche	133
Tabla 86 Factor de flujos al utilizar un Banco de hielo en el enfriamiento de leche.....	134
Tabla 87 Costo por uso de agua al año al utilizar un Banco de hielo en el enfriamiento de leche	134
Tabla 88 Análisis de Ingresos y Egresos para Panzas Frías	135
Tabla 89 Análisis de Ingresos y Egresos para Bancos de Hielo	136
Tabla 90 Análisis de Ingresos y Egresos para Ice Slurry.....	136
Tabla 91 Des. Estándar y Temperaturas Promedio de la leche fría resultantes de la puesta en marcha de los experimentos del arreglo L8	137
Tabla 92 Características de los Intercambiadores de placas	159
Tabla 93 Condiciones de Termo transferencia y Fluidodinámicas en Intercambiadores de Placas	159
Tabla 94 Dimensiones Típicas de los Intercambiadores de Calor de Placas	160

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la leche es uno de los alimentos más importantes en el consumo diario de las familias peruanas, además cuenta con una gran relevancia en otros puntos, como las exportaciones al extranjero. Para el año 2014, la leche evaporada representó el 88% del peso total de los productos lácteos, consiguiendo así resaltar en el aporte económico con un 90%. De esta forma, para ese mismo año, los principales departamentos productores de leche fresca fueron Lima, Cajamarca y Arequipa, significando un 54% de la producción total a nivel nacional (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015, pp.161). En lo que concierne al consumo per cápita de la leche, para el año 2017 se encuentra aproximadamente en 87 litros por persona al año y esta cifra tiene una tendencia a crecer de acuerdo a estimaciones acerca de 120 litros por persona. A partir de este dato presentado en una entrevista para el diario Gestión, el ministro de Agricultura y Riego, José Manuel Hernández, indica que este crecimiento pronosticado para el siguiente año se encuentra en la cantidad que recomienda la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (Diario Gestión, 2017)

Actualmente, al ser un alimento fundamental y básico en la alimentación humana, requiere un estricto control de calidad acorde a las normas de inocuidad establecidas. En Perú, la producción de leche y todos los procesos implicados están conforme a la Norma Técnica Peruana “Leche y productos lácteos y requisitos de la leche cruda” (NTP 202.001 2003). En tal sentido, entre los principales requerimientos que se aspira a cumplir al momento de la producción industrial de la leche, se encuentra el de calidad microbiológica, que busca asegurar la inocuidad del alimento evaluando la cantidad de células somáticas, microorganismos mesófilos, serobios, facultativos viables y coliformes por ml de leche. (NTP 202.001, 2003). El proceso de enfriamiento es muy importante para el control bacteriano, ya

que la multiplicación y proliferación de los microorganismos presentes en la leche se magnifica conforme al aumento de la temperatura (Solid, O. P. D, 2010, p. 10). En consecuencia, a lo largo de los años se han desarrollado distintas tecnologías para conseguir enfriar este producto. El concepto básico para la utilización de cualquiera de estas tecnologías se encuentra en la transferencia de calor por contacto indirecto, para de esta forma no alterar la composición de la leche.

Dando un vistazo a la línea temporal respecto al enfriamiento de la leche, en sus inicios se inició con tecnologías de refrigeración con agua natural, pasando desde un simple sistema donde un recipiente separaba por láminas ambos líquidos; hasta el uso de refrigeradores en espiral, placas, y anillos refrigerantes. Con el paso del tiempo, se cambió a sistemas de refrigeración con agua enfriada usando las tecnologías ya antes mencionadas y acoplando a estas nuevas tecnologías como la refrigeración por tanques de expansión directa (panzas frías) y las de reserva de hielo (Hernández Benedi, 1975). Actualmente se han presentado un repertorio de alternativas para conseguir el enfriamiento de la leche, tales como Water Chiller y Bancos de Hielo, a estos se les ha incorporado además del agua, el uso de refrigerantes para hacer mucho más rápido y eficiente el proceso. Sin embargo, aunque cada tecnología tiene sus ventajas, suelen tener deficiencias.

Con respecto al Ice Slurry, en las últimas décadas se ha desarrollado como una nueva tecnología para el enfriamiento y refrigeración, gozando de bastantes aplicaciones en distintos campos como el uso en sistemas de aire acondicionado, la refrigeración de alimentos en supermercados, cocinas grandes de instituciones público-privadas, refrigeraciones de camiones y vagones, refrigeración por contacto directo de vegetales y alimentos de origen marino y enfriamiento de líquido como la cerveza, aceite o leche por contacto indirecto (Kauffeld, M., Wang, M. J., Goldstein, V., & Kasza, K. E. ,2010).

En Latinoamérica y Perú se han realizado investigaciones y aplicaciones de Ice Slurry, sin

embargo, pocas son las que se han desarrollado como su uso en fluidos y mucho menos en la leche. Su aplicación en la industria láctea, sería de gran aporte para mejorar las condiciones y procesos de enfriamiento de los productos lácteos, los cuales requieren de bajas temperaturas para su conservación. (Illán F. , Viedma A. , 2010.)

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el propósito de esta investigación se encuentra enfocado en determinar la aplicación de Ice Slurry como fluido secundario en un sistema de enfriamiento con intercambiadores de calor para la mejora de la cadena de frío de la leche. Para tal fin, se ha planteado distintos objetivos específicos como determinar la posibilidad de enfriar leche con Ice Slurry; así como evaluar la influencia que tiene el uso de un sistema de este tipo en distintos aspectos como los costos, el aprovechamiento de la energía térmica, productividad del proceso de enfriamiento y la calidad del producto.

De esta forma el presente estudio se ha desarrollado con el apoyo de la empresa Agroindustrial del Perú S.A., perteneciente al grupo Gloria, ubicada en el Distrito de Majes en la Panamericana Sur; buscando el desarrollo de tecnologías en la industria del sector lácteo ya que los distintos procesos involucrados en la producción de leche evaporada y derivados requieren contar con estándares de calidad que se tienen que cumplir acorde a la legislación Peruana y distintas Normas Internacionales a las que está ligada la empresa (MINAGRI, sf). Actualmente Agroindustrial del Perú S.A., así como sus principales proveedores, tienen un cuidado especial en sus procesos, procurando que en cada uno se aporte calidad al producto desde el ordeño de la leche cruda hasta su disposición a las otras plantas procesadoras. En todo su proceso productivo, el enfriamiento de la leche es importante para la conservación de la calidad del producto, teniendo influencia directa en la calidad microbiológica, un criterio muy importante que se tiene que cumplir de acuerdo a las Normas de inocuidad, ya que se exige que la leche se encuentre libre de gérmenes patógenos que puedan producir riesgos para

la salud del consumidor. Una razón adicional por la cual se controla la calidad microbiológica es debido a que se busca a tener la menor cantidad de bacterias, de las cuales pueden encontrarse las que ocasionan el agriado y la descomposición del producto. Para evitar estos problemas, se requiere tener la leche a temperaturas inferiores a los 6° C (Zavala Pope, J. M., 2005; E. Molina & A. Calderón; 1985).

En la mayoría de plantas procesadoras de leche, así como en pequeños proveedores del Grupo Gloria se ha identificado la existencia de distintas tecnologías para el enfriamiento de sus productos. Los principales sistemas con los que cuenta el sector lácteo son: panzas frías o sistema de expansión directa, water chiller y sistemas de bancos de hielo con intercambiadores de calor; siendo el sistema de panzas frías el menos eficiente y sin embargo el más usado en toda la industria láctea, acorde a lo comentado por el Ingeniero Iván Rodríguez Valdivia, Jefe de Mantenimiento Zona Sur de la empresa Agroindustrial del Perú. La cantidad de tiempo o los costos en que se incurren al enfriar la leche en los sistemas mencionados anteriormente, tiene repercusión en la magnitud de energía tanto térmica como eléctrica que se desaprovecha, así como en la productividad y la calidad del producto (Apéndice 1).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

En el sector lácteo actualmente los proveedores tanto grandes como pequeños, al momento de realizar el ordeño de la leche, la obtienen a una temperatura promedio de 38 °C aproximadamente (Apéndice 1); conforme pasa el tiempo, se presenta un mayor desarrollo bacteriano, desencadenando la disminución de la calidad del lácteo o incluso el agriado y descomposición de este. Es por tal motivo que el papel que cumple el proceso de enfriamiento es de gran importancia para la producción y comercialización de la leche y sus derivados, ya que la calidad de este alimento depende en gran medida de su carga bacteriana

inicial y el tiempo en que se aplique la cadena de frío (Walstra, 2001)

En su mayoría, los procesos dedicados al enfriamiento, tanto los realizados por los proveedores como de los productores lecheros buscan bajar la temperatura del fluido desde 38°C a 4°C en promedio. Para tales propósitos, hoy en día se dispone de una amplia variedad de tecnologías siendo las más utilizadas en Arequipa y en el país para el enfriamiento de la leche cruda las siguientes: sistemas de expansión directa o panzas frías, water chiller y el sistema de enfriamiento por bancos de hielo. (Apéndice 1)

Sin embargo, para el uso de estas tecnologías en el enfriamiento de la leche, la cantidad de energía utilizada es bastante y a su vez costosa, debido al extenso tiempo de operación de esta. Cada tecnología tiene algunas desventajas en cuanto al tiempo de operación y otras en cuanto al aprovechamiento de energía térmica y al consumo de energía eléctrica.

Una de las principales deficiencias encontradas en el sistema de enfriamiento por panzas frías, es el tiempo de enfriamiento de la leche, el cual es muy grande y se plasma en un aprovechamiento deficiente de la energía utilizada, así como la aparición de otros problemas como la proliferación bacteriana; siendo un punto importante para las empresas del sector, puesto que afecta a la calidad microbiológica de la leche, la cual está sujeta a una normativa que exige parámetros de control de calidad de acuerdo a los requerimientos de las Normas de sanidad e inocuidad de alimentos y Normas Internacionales.

A comparación de la primera forma de enfriamiento, la tecnología por bancos de hielo tiene ventajas mayores en cuanto a las operaciones en la empresa. Este sistema permite manejar un enfriamiento más rápido y a su vez cuenta con la capacidad de ahorro energético, dando la

posibilidad de operar el enfriamiento en cualquier hora de trabajo que se encuentre en la tarifa fuera de punta en el consumo eléctrico, otorgando a este proceso una mayor velocidad y menor tiempo operación que el sistema de expansión directa (panzas frías). Sin embargo, esta tecnología es más costosa que la primera, siendo alta la cantidad de energía empleada para enfriar el agua bombeada por los intercambiadores de calor. Por tal razón, existe un límite con respecto a la energía utilizada al enfriar mayores cantidades de leche, ya que la forma en que trabaja este sistema solo permite conseguir que el fluido de enfriamiento se encuentre a una temperatura próxima al punto de congelamiento (aproximadamente 1 a 2°C). Si se analiza la producción del punto de vista de economías a escala, esta tecnología nos permitiría reducir los costos al producir mayor cantidad de leche. (BAC, s.f.)

En cuanto a la tecnología water chiller, esta permite enfriar de forma rápida, pero no posee la ventaja del almacenamiento de energía frigorífica, y esto se traduce en mayores costos debido a que si se requiere trabajar en horas pico donde la electricidad tiene mayor costo, teniendo un impacto en los costos de producción.

Hoy en día, los sistemas de enfriamiento más utilizados por los proveedores de leche cruda fría (panzas frías) presentan deficiencias en cuanto a productividad teniendo que enfriarla en una mayor cantidad de tiempo, significando así un deterioro del producto. De lo mencionado anteriormente surge la necesidad de determinar la posible aplicación de Ice Slurry en un proceso de enfriamiento de leche con intercambiadores de calor, favoreciendo a los procesos siguientes de la cadena de suministro y agregando valor al producto sin descuidar su calidad. Frente a este planteamiento, la existencia de la tecnología de enfriamiento con Ice Slurry presenta la posibilidad de poder dar una alternativa de mejora para el enfriamiento de la leche en la industria.

1.2. Formulación del Problema

¿Se podrá aplicar Ice Slurry como una propuesta tecnológica de un sistema de enfriamiento con intercambiadores de calor para los proveedores y Cales de la industria láctea ubicados en el distrito de Majes logrando una mejora en la efectividad del proceso de enfriamiento?

1.3. Sistematización del Problema

- ¿Es posible enfriar la leche cruda con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor desde 38 ° C a una temperatura objetivo dentro del rango de 3 a 5 °C?
- ¿El enfriamiento de Ice Slurry a través de intercambiadores de calor permitirá una reducción del tiempo necesario para enfriar la leche cruda frente al sistema más utilizado en el sector actualmente?
- ¿El uso de un sistema de enfriamiento con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor permitirá aprovechar de forma eficiente la energía térmica?
- ¿Frente al consumo eléctrico que usan los sistemas actuales de enfriamiento se podrá enfriar una cantidad mayor de leche?
- ¿La aplicación del sistema de enfriamiento Ice Slurry a través de intercambiadores de calor favorecerá a la reducción de costos frente a los sistemas actuales?
- ¿La aplicación del sistema de enfriamiento con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor permitirá el aseguramiento de la calidad microbiológica de la leche cruda?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Demostrar la aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para el enfriamiento de leche cruda con intercambiadores de calor en la mejora de la efectividad de dicho proceso para los proveedores y Cales de la industria láctea ubicados en el distrito de Majes.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la posibilidad de utilizar Ice Slurry para enfriar la leche cruda a una temperatura objetivo dentro del rango de 3 a 5 °C.
- Elaborar los diseños experimentales y realizar las experiencias necesarias para validar la aplicación de un sistema de enfriamiento de leche usando Ice Slurry como fluido secundario a través de intercambiadores de calor.
- Evaluar los resultados de los experimentos realizados y establecer los parámetros de operación del proceso de enfriamiento.
- Realizar una evaluación económica en cuanto a productividad y de consumo energético de la propuesta tecnológica.
- Comparar la efectividad de la propuesta tecnológica frente a las tecnologías actuales en términos de tiempo de enfriamiento de la leche.
- Evaluar la influencia del sistema de enfriamiento propuesto en la calidad microbiológica de la leche cruda.

3. JUSTIFICACIÓN

3.1. Justificación Teórica

Las investigaciones respecto a los sistemas de refrigeración con Ice Slurry se han realizado a lo largo de las últimas décadas en muchas partes del mundo con mayor énfasis en Europa y Asia. Sin embargo, la existencia de estudios respecto al uso de esta tecnología en Latinoamérica es escasa. Y lo es mucho más si se habla de investigaciones realizadas en Perú con aplicaciones en fluidos tales como la leche buscando la mejora de la cadena de frío. Es por tal que esta investigación se realiza con el propósito de aportar al conocimiento existente sobre el uso de Ice Slurry como fluido secundario en el proceso de enfriamiento de leche cruda en la industria láctea.

3.2. Justificación Metodológica

El diseño óptimo de un sistema de enfriamiento con Ice Slurry para fluidos como la leche requiere del desarrollo de investigaciones que indaguen las posibilidades de aplicación de una nueva tecnología de refrigeración en la Industria láctea en Perú. Al buscar las mejoras en la cadena de frío de tal sistema, y demostrar su validez se podrá hacer uso del presente trabajo para futuras investigaciones y aplicaciones de las tecnologías de enfriamiento con Ice Slurry en la industria.

De tal forma la presente investigación se ha desarrollado a partir de experimentos realizados en una planta piloto basada en un diseño elaborado con información teórica y cálculos orientados a proveedores y cales del sector. Con los resultados obtenidos se procedió a realizar los análisis de productividad, calidad y costos-beneficio.

Siguiendo la metodología utilizada se puede replicar este estudio en derivados de leche o productos con características físico-térmicas parecidas y en diferentes zonas geográficas teniendo en cuenta parámetros como: temperatura inicial del producto, propiedades físicas, presión atmosférica. Todas estas variables son posibles de controlar en futuras investigaciones.

3.3. Justificación Práctica

Conforme a las necesidades de la industria y los avances tecnológicos se abre paso al surgimiento de nuevas tecnologías, las cuales es importante evaluar a fin de determinar si representan nuevas vías para el crecimiento de las empresas y mejora de sus procesos productivos dando una mayor posibilidad de utilizar mejor sus recursos, y agregando valor al producto sin descuidar su calidad. Es así el afán de las empresas de distintos sectores industriales de generar mayores oportunidades de crecimiento, a través de la investigación y desarrollo plasmando su intención en la generación y análisis de nuevos conocimiento y métodos.

4. DELIMITACIONES

4.1. Delimitación Temática

El estudio se centra en determinar la posibilidad de la aplicación de un sistema de enfriamiento con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor en el enfriamiento de la leche cruda para los proveedores y Cales de la industria láctea ubicados en el distrito de Majes, buscando el mejor aprovechamiento de los recursos, así como mejoras en la productividad y calidad del proceso de enfriamiento de leche cruda. De acuerdo a tal, para el desarrollo de la investigación se hará uso de información secundaria proveniente de fuentes extranjeras y nacionales que han indagado en temas como: propiedades térmicas del Ice Slurry, aplicaciones en otras industrias, diseño y modelado de sistemas para enfriamiento y refrigeración con ice Slurry, propiedades de la leche, aseguramiento de calidad en lácteos, etc.

4.2. Delimitación Geográfica

El presente estudio se realizará en las instalaciones de la planta Agroindustrial del Perú perteneciente al Grupo Gloria, ubicada en el distrito de Majes de la provincia de Caylloma, en la Región Arequipa; contando con el apoyo de los jefes de los departamentos de Control de Calidad, Producción y Mantenimiento.

4.3. Delimitación Temporal

La totalidad del trabajo se llevó a cabo dentro del periodo de un año (2017-2018), comprendiendo una investigación previa y experimental. Como limitante se tiene la lejanía de la localización de la planta con respecto a los domicilios de los autores, generando la necesidad de viajar, así también se tuvo como limitación la disponibilidad de herramientas o equipos que dificultaron la continuidad del proceso de investigación.

CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

El objetivo del presente capítulo es desarrollar todo aspecto teórico relacionado a la presente investigación de tal forma sea de ayuda a la comprensión del contenido presentados en siguientes capítulos.

1. Antecedentes de la Investigación

A lo largo de los años, se han desarrollado diferentes procedimientos para el enfriamiento de los productos lácteos con el fin de controlar el contenido microbiano, el cual determina la calidad sanitaria del producto (Hernández, 1975); según La Norma Técnica Peruana 202.001.2003, los requisitos microbiológicos se basan en un conteo de células somáticas, microorganismos mesófilos, serobios, facultativos viables y coliformes.

Entre los procedimientos de enfriamiento ya existentes, se pueden mencionar algunos métodos: Refrigeración con agua natural, Refrigeración con agua enfriada, y Refrigeración por expansión directa. (Hernández, 1975; L. Pinuer, 2008)

Frente a los procedimientos mencionados, el sistema de enfriamiento con Ice Slurry ha sido acogido por países como Japón y Korea con el fin de reemplazar la refrigeración con agua enfriada, no aplicados en la industria láctea, pero tales hechos ya significan precedentes (Kauffeld, Wang, Goldsten & Kasza, 2010).

Peter Egolf (2004) en una nota técnica en tecnologías de refrigeración para el “Instituto Internacional de Refrigeración”, propone un listado con las potenciales aplicaciones en diferentes ámbitos de los sistemas generadores de Ice Slurry, entre los cuales tenemos:

- Supermercados
- Instalaciones de producción de leche y quesos
- Cervecerías
- Comida rápida
- Refrigeración de aviones en aeropuertos
- Industria Farmacéutica
- Inmersión directa de alimentos
- Almacenamiento de frío en la industria de alimentos, etc.

El sistema de enfriamiento con Ice Slurry ha sido acogido mayormente por países como Japón y Korea, siendo en Japón más utilizado con aproximadamente más de 400 sistemas instalados para el año 2001, con el fin de usarlos como almacenamiento de energía en la construcción de sistemas de aire acondicionado y ahorrar costos de operación, ya que la generación de Ice Slurry ocurre durante la noche para luego ser almacenados en tanques, dichos sistemas no son aplicados en la industria láctea, pero tales hechos ya significan pasos previos para lo que es su aplicación en la conservación de alimentos precedentes.(Kauffeld et al., 2010)

Con respecto a la determinación de nuevos procesos como son los sistemas generadores de Ice Slurry, Kauffeld et al. (2010) recopilan algunos ejemplos de cómo se ha venido utilizando tal tecnología tales como: la aplicación en sistemas de enfriamiento en cervecerías y en cocinas de instituciones. Este autor resalta que anteriormente, el sistema de enfriamiento de la cervecería ZIPF estuvo basado en una planta de amoníaco, usando “Ice Slurry” como refrigerante para necesidades no relevantes; con el fin de reducir el consumo de energía, en el año 2004 el ciclo del refrigerante y parte del sistema de bombeo de amoníaco, fue

reemplazado por Ice Slurry, manteniendo parte de los equipos, como los intercambiadores de calor, logrando reducir la carga energética de 1350 KW a 670 KW, gracias al almacenamiento térmico del “Ice Slurry”.

Para el caso de grandes cocinas de organismos institucionales de Francia, Alemania y Lichtenstein; Kauffeld et al. (2010) resalta que estos países tienen instalados sistemas de enfriamiento con Ice Slurry. Así en Klinikum Stuttgart, hospital de Alemania el cual fue construido en el año 2007 con una capacidad instalada de 9000 pedidos al día, se cuenta con uno de los más grandes sistemas de generación Ice Slurry de la industria. El Ice Slurry de Etanol y agua es producido por 16 generadores con una capacidad de enfriamiento de 185 KW, almacenándose en 3 tanques de 22 m^3 cada uno, siendo instalado tal tecnología para el enfriamiento del proceso de cocción, enfriamiento y el sistema de distribución; ya que el circuito de Ice Slurry es autónomo, no se generan desechos tóxicos para el medio ambiente, a su vez, asegura el control bacteriano de los alimentos.

Según, Kauffeld et al. (2010) en “Ice Slurry Applications”, la “Pasta de hielo ” tiene un alto potencial de almacenamiento de energía, debido al calor latente de fusión de sus cristales de hielo; además la producción y almacenamiento del frío puede realizarse en horas del día, cuando la electricidad es barata y poder ser usado cuando los costos son más altos. Melinder (2010) realizó una investigación sobre los fluidos secundarios a utilizar como el propilenglicol, etanol, amoníaco, y el Cloruro de Sodio; con el fin de ayudar a un mejor desarrollo de estos en futuras investigaciones y diseños de sistemas de enfriamiento basados en el uso de tales tipos de fluidos, detallando las propiedades como su densidad, concentración, tensión superficial y su grado de toxicidad, corrosión e inflamabilidad de estos.

En cuanto a investigaciones realizadas acerca de sistemas de refrigeración basados en energía térmica, Grozdek (2009) en su obra “Load Shifting and Storage of Cooling Energy through Ice Bank or Ice Slurry Systems” menciona que en la mayoría de publicaciones todavía existen diferencias entre los resultados y conclusiones reportados por diferentes investigadores acerca de los sistemas de refrigeración basados en almacenamiento de energía térmica. De esta forma, en su tesis de doctorado realiza grandes aportes al estado del arte. En primer lugar el comportamiento del Ice Slurry es dependiente del tiempo, debido a la variación del tamaño y la forma de los cristales de hielo; además la caída de presión de la circulación de Ice Slurry por lo general es mayor si lo comparamos con la del flujo laminar y del régimen turbulento, aunque esto no se cumple para concentraciones de hielo del 15% a más, donde la caída de presión de ice Slurry es menor debido a que en el momento de transición de laminar a régimen turbulento se sufre un retraso del fluido de fase simple.

En segundo lugar, Grozdek (2009) resalta que al momento de usar Ice Slurry para la transferencia de energía, si es que se necesita que este sea transportado a través de tuberías deberá considerarse que concentración adecuada de las partículas de hielo debe encontrarse en un porcentaje de 15% a 20% mientras que se considere usar una velocidad que se encuentre en el límite superior del flujo laminar. Si hay exceso de tales parámetros se presentarán problemas en el sistema de refrigeración como la solidificación del Ice Slurry, desencadenando en un uso de una mayor potencia de las bombas o incluso la obstaculización del flujo.

Sumado al aporte dado en la investigación hecha por Grozdek, en Ice Slurry Cooling Research: Storage Tank Ice Agglomeration And Extraction los autores Kasza y Kanetoshi (1998) nos hablan que hay que tener cuidado con el porcentaje en la concentración de hielo

ya que este tiene influencia en la aglomeración del Ice Slurry en los tanques de almacenamiento ya que excediendo un 40% de la concentración de este en el tanque se requiere de una mayor agitación. De acuerdo a los datos aportados por estos autores y con la futura investigación hecha por Grozdek se ve conveniente no superar la concentración del 20% para aplicaciones de transporte y circulación del fluido a través de tuberías u otros sistemas como intercambiadores de calor.

En otros aspectos, Grozdek (2009) resalta que la transferencia de calor de Ice Slurry está en función de las características físicas del tubo de transporte y las propiedades físicas del fluido portador, ya que tal transferencia de calor se encuentra en función de la fracción de masa de hielo y la velocidad. Es por tal, que el flujo de calor impuesto no goza de influencia o esta es mínima sobre el coeficiente de transferencia de calor.

Por último, aportando observaciones a partir del trabajo de este autor, podemos decir que la producción de lodos de hielo cerca del cero absoluto parece ser una preocupación importante en la aplicación de esta solución de sistema. Esto debido a que los generadores de Ice Slurry actuales en el mercado no están adaptados para la producción de Ice Slurry cerca del cero absoluto. Además, a partir de su investigación experimental respecto a la caída de presión de la suspensión de hielo y de la transferencia de calor debe ampliarse los estudios a otros pares de fluidos secundarios y niveles diferentes de temperatura para su aplicación en la industria.

Viendo más a las aplicaciones de Ice Slurry en el enfriamiento de fluidos y sobre todo de la leche, Illan y Viedma (2010) desarrollan un estudio en el cual analizan el impacto que tiene el uso de un sistema con Ice Slurry en lugar de uno de expansión directa en el proceso de enfriamiento y los costos de electricidad en que incurre una granja. Esta investigación da un gran aporte al presente estudio pues concibe algunas variables a considerar al momento de

usar tal tecnología al enfriar líquidos como la leche.

2. Marco Teórico Conceptual

Para el desarrollo de la presente tesis se ha visto por conveniente indagar en la literatura existente para adquirir los conocimientos suficientes y llevar a cabo un desarrollo adecuado de la investigación. Dentro de los principales conceptos están los referentes a la leche, los sistemas de refrigeración, y la tecnología de sistemas de enfriamiento con Ice Slurry. El orden en que se ha venido desarrollando, obedecen a un criterio basado en ir explicando temas relevantes concernientes al producto básico del sector lácteo, pasando por el proceso de estudio y culminando en la tecnología alternativa para su posible mejora.

2.1 La Leche

La leche es un alimento proveniente de las glándulas mamarias de todo mamífero, el cual es segregado para la nutrición de las crías durante la etapa inicial de vida, variando su composición con la especie. (Zabala, 2005, p.5)

Para Alais (1985) el concepto que propone Zabala es muy parecido, sin embargo, visto desde de un punto de vista legal la leche es definido como el producto íntegro del ordeño de una hembra en buen estado, siendo inapropiada para consumo humano la producida por animales malnutridos o enfermos. (p. 6).

De acuerdo a la Norma Peruana Técnica NTP 202.001 2003, Zavala presenta una definición muy similar a la de Alais, con la diferencia que se la otorga una tipificación de la leche conocida como leche cruda entera.

Esta última definición es de mucha mayor utilidad al momento de referirnos a la leche como un producto para el consumo humano, pues incorpora criterios de sanidad y calidad para que esta sea apta para ser distribuida en el mercado.

2.1.1. Propiedades físicas y térmicas

La determinación y análisis de las propiedades físicas de la leche son de suma importancia para el diseño tecnológico, de ingeniería y procesamiento del producto lácteo. (McCarthy y Singh, 2009, p.691). Dentro de las cuales, analizaremos la viscosidad, calor específico, densidad, punto de congelación, y conductividad térmica; con el fin de poder hacer el diseño y cálculos necesarios para lograr la aplicación de sistema de enfriamiento con Ice Slurry para el enfriamiento de este alimento.

2.1.1.1. Densidad

Conocida como la cantidad de masa por unidad de volumen expresado en kg/m^3 . Pinto et al. (1980) citado en Vargas (2004) nos explica que esta propiedad goza de influencia directa de todas las propiedades de sus componentes. De tal forma junto con la viscosidad, la densidad es un factor importante en cualquier investigación que pretenda trabajar con fluidos. Hay que tener en cuenta que la densidad de la leche varía conforme a la temperatura (Alais, 1985, p. 254). Conforme a la Tabla 1, por lo general sus valores medios se encuentran entre 1,029 y 1.034 para una temperatura de 15°C.

Tabla 1

Algunas Propiedades fisicoquímicas de diferentes tipos de leche

Propiedad	Leche Fresca	Leche Desnatada	Leche Evaporada	Leche Condensada azucarada
ph	6.7	6.7	6.2	6.6
Viscosidad aparente	1.9	1.65	17	15-60
Densidad (kg/m^3)	1,029	1,035	1,070	1,070

Fuente: Walstra et al. (2006); Farkye y Ur-Rchman (2011) citados en Marcelin-Rodriguez, M. & Velez-Ruiz, J. (2012)

La Tabla 1 muestra los valores de propiedades como el pH, viscosidad y densidad de los diferentes tipos de leche como la fresca, desnatada, evaporada y condensada azucarada; en la cual se puede notar que la variación entre las densidades de la leche desnatada con la fresca no es tan grande; sin embargo, si se compara la leche fresca con los otros dos tipos de leche mostrados se halla una diferencia de unos 50 Kg/m³. Este dato es de relevancia al momento de realizar investigaciones en distintos tipos de leche. Para el caso de la presente investigación es necesario contar con el valor de la densidad de la leche fresca o cruda, la cual según Walstra es de 1,029 kg/m³.

Este valor coincide con los valores de la densidad de la leche producida por el ganado vacuno en Perú, pues de acuerdo a la Norma Técnica NTP 202.001 2003, estos valores deben estar ubicados entre 1,029 y 1,034 kg/m³. De acuerdo a un estudio realizado en la zona sur del Perú los valores registrados de esta propiedad junto con otras se encuentran en el rango de lo considerado aceptable dentro de la norma técnica peruana y también presenta similitud con la densidad de la leche en otros países (Magaly Brousett-Minaya, Ana Torres Jiménez, Alex Chambi Rodríguez, Bethy Mamani Villalba, & Hernán Gutiérrez Samata , 2015, p. 169).

2.1.1.2. Viscosidad

Es la resultante causada por el frotamiento de las moléculas, es decir, la resistencia de los líquidos a fluir, expresado en centipoises (Alais, Ch, 1985, p.258). Aunque esta propiedad de la leche puede expresarse también en Pa*s o Kg/ms de acuerdo a la necesidad de los cálculos. La viscosidad de un fluido como la leche, tiende a disminuir con el aumento de la temperatura (Alais, Ch, 1985, p.258), y esto se puede constatar en la Tabla 2. Sin embargo, la variación de temperatura no es el único factor que puede alterar esta propiedad; sino que también son influyentes el contenido graso, la homogeneización, la fermentación, envejecimiento. (F.D. Barrera Rodríguez, 2014, p. 21)

Tabla 2

Viscosidad de la Leche (centipoises) para distintas temperaturas

Temperatura (°C)	Leche entera	Leche Desnatada	Solución de Lactosa al 5%	Agua
5	3.2	3.9	1.8	1.53
10	2.8	2.5	1.5	1.3
20	2.2	1.9	1.2	1.006
30	1.65	1.35	0.9	0.8
50	-----	0.6	0.4	0.55

Fuente: Alais, Ch (1985) “Ciencia de la Leche, Principios de técnica lechera”

De tal forma de acuerdo a Alais (1985) la viscosidad dinámica de la leche entera, la cual no sufre ninguna extracción de su contenido graso, a 30 °C es de 1.65 centipoises. Este dato es muy cercano al proporcionado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1981), la cual establece que la viscosidad de la leche de acuerdo se encuentra entre 0.0016 a 0.00215 Kg/ms (equivalente a 1.6 a 2.15 mPa*s).

En lo que respecta a la leche cruda, estos valores de viscosidad son muy cercanos a los mencionados anteriormente, estando el valor de esta propiedad en un promedio de 1.8 mPa*s en un estudio realizado en leches luego del ordeño de vacas en Chile (I. Vargas, 2004). En lo que respecta a la viscosidad dinámica de la leche cruda en Perú, esta también se encuentra cercana a estos valores (Apéndice 1) por lo que usar cualquiera de los valores presentados por Alais en la Tabla 2 con fines de realizar cálculos es acertado.

2.1.1.3. Calor específico

Definido como la proporción requerida de energía calorífica que se requiere para incrementar un grado de temperatura la masa de una sustancia. Para el caso de la leche, sería la cantidad de calor necesario para incrementar la temperatura de un kilogramo de leche. Por lo general este valor suele ser expresado en el sistema internacional en KJ/Kg·°K o en el sistema Ingles

en $\text{Btu/lbm}\cdot^{\circ}\text{R}$ (Y.A. Çengel, M.A. Boles & G.N. Cázares, 2006).

Distintos autores coinciden en que el calor específico de la leche cruda entera se encuentra en valores cercanos a $3.9 \text{ KJ/Kg}\cdot^{\circ}\text{K}$. Hayes en 1992 proporciona en su manual de datos para la ingeniería de alimentos el valor del calor específico de la leche, siendo este $3.9 \text{ KJ/Kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ (G.D. Hayes, 1992, p. 67). Cengel años más tarde (2007) proporciona un valor muy similar, con diferencia de décimas, siendo $3.89 \text{ KJ/Kg}\cdot^{\circ}\text{K}$ el valor del calor específico de la leche. Para efectos de cálculos o diseño es mejor utilizar el valor de $3.9 \text{ KJ/Kg}\cdot^{\circ}\text{K}$ como calor específico de la leche, ya que este otorga un factor de seguridad para asegurar la transferencia de calor al momento de enfriar la leche.

2.1.1.4. Conductividad Térmica

Es una medida de la capacidad de un material o sustancia para almacenar energía térmica (C.E.O. Alzate, 2003, p. 62). Para Cengel (2007) el concepto de conductividad térmica es similar, definiendo a esta como la capacidad de un material, ya sea que se encuentre en estado sólido, líquido o gaseoso; para conducir calor. Un valor elevado para esta propiedad quiere dar a entender que el material es un buen conductor del calor y un valor pequeño indica que es un mal conductor o que es un aislante. (pp. 21-22)

Acorde a estas definiciones, se han hecho diversos estudios para determinar los valores de esta propiedad para distintos materiales. En la Tabla 3 se puede observar las distintas conductividades para líquidos, entre ellos se encuentra de interés el valor de la leche cruda entera siendo $0.58 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$, valor muy cercano a la conductividad del agua y la leche descremada.

Tabla 3

Conductividad térmica de distintos líquidos

Alimento	Contenido de Agua % (Masa)	Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m³)	Conductividad térmica (W/m·°C)
Leche Descremada	91.0	20.0	-	0.566
Leche Entera	88.0	28.0	-	0.58
Agua	100.0	0.0	1,000.0	0.569
Aceite de Olivo	0.0	30	910.0	0.168

Fuente: Cengel, Y. A. (2007) Transferencia De Calor Y Masa: Un Enfoque Práctico/Yuns A. Cengel; Rev.

Sofia Faddeera (No. TJ260. C38 2007.), pp.610 -612

2.1.1.5. Punto de Congelamiento

Es una propiedad importante al momento de trabajar en la refrigeración y conservación de la leche. Al igual que todos los alimentos su conservación se da en la refrigeración luego de un proceso de enfriamiento sin cambio de fase (Cengel, 2007, p. 249). Congelar o eliminar el calor latente de la leche cruda acarrea consecuencias en cuanto al cambio en la composición y la calidad del producto.

En la Tabla 4 se presentan los puntos de congelación para distintos alimentos, entre ellos se encuentra la leche con un punto de congelación de 0.6°C (Cengel, 2007, p. 851). Este valor se encuentra cercano en lo propuesto por el Ministerio de Agricultura (2007) en su proyecto de Norma “Requisitos de la leche Cruda”, donde se establece que el punto crioscópico de la leche cruda se encuentra entre los valores de -0.512°C a -0.563°C.

Tabla 4

Punto de Congelamiento de alimentos comunes

Tipo de Alimento	Punto de Congelación (°C)
Leche	-0.6
Agua	0
Huevos	-0.6
Queso Suizo	-10
Fresas	-0.8

Fuente: Cengel, Y. A. (2007) Transferencia De Calor Y Masa: Un Enfoque Práctico/Yuns A. Cengel; Rev. Sofia Faddeera (No. TJ260. C38 2007.), pp.610 -612

Aunque pueda creerse que congelar la leche es lo adecuado para su conservación, lo cierto es que esta práctica influye en el producto afectando su composición y calidad, ya que a partir de temperaturas menores a los 3°C se puede empezar a notar la alteración de la composición y calidad de la leche a causa de microorganismos psicrófilos que se desarrollan a bajas temperaturas (A.C. Ramos, 1994).

2.1.1.1. Resistencia al Ensuciamiento

Cuando se habla de procesos de transferencia de calor, por lo general están involucrados dos fluidos al momento de hacerlos circular por un intercambiador de calor. En estos procesos, el ensuciamiento es la resistencia que existe a transferir calor debido a las capas de suciedad que se forman por hacer pasar los fluidos sobre las paredes de las áreas utilizadas para transferir calor (L. Moncada Albitres, 2006). De esta forma el factor de ensuciamiento es distinto para cada fluido de acuerdo a sus propiedades y características fisicoquímicas, notándose así diferentes valores para distintos fluidos (Tabla 5).

Tabla 5

Factores de ensuciamiento para intercambiadores de placas PHE

Fluido	Factor de ensuciamiento (en $\text{hm}^2\text{°C/Kcal x } 10^5$)
Agua desmineralizada o destilada	0.2
Agua blanda	0.4
Agua dura	1
Agua enfriamiento tratada	0.8
Agua de río	1
Agua salada	1
Aceite mineral	0.4 a 1.0
Aceite vegetal	0.4 a 1.2
Solvente orgánico	0.2 a 0.6
vapor	0.2
Fluidos de procesos en general	0.2 a 1.2

Fuente: Gómez García, A. (2008). Modelo de cálculo para el análisis térmico y mecánico de intercambiadores de placas.

En el caso de la leche al momento de enfriarla, esta se hace circular a través de un intercambiador de calor, consiguiendo un enfriamiento instantáneo. Sin embargo, con el uso en las paredes del intercambiador se va incrustando suciedad proveniente de los fluidos que se hacen pasar, volviendo menos eficiente el intercambio de calor.

Para el caso de la leche, esta se puede considerar como un fluido de procesos en general, cuyo ensuciamiento alcanza un valor máximo de $1.2 \text{ h.m}^2 \text{°C} / \text{Kcal x } 10^5$ o $0.0000103\text{m}^2 \text{°C/W}$ (Tabla 5 y 6)

Tabla 6

Resistencias a la incrustación sugeridas para diseño de intercambiadores de placas

Fluido	Factor de ensuciamiento (en m² °C/W x 10⁵)
Agua Desmineralizada o destilada	0.17
Agua Blanda	0.34
Agua Dura	0.86
Agua De enfriamiento (tratada)	0.7
Agua De mar	0.86
Agua De río	0.86
Aceites lubricantes	0.34 a 0.86
Aceites vegetales	0.34 a 1.03
Solventes orgánicos	0.17 q 0.51
Vapor	0.17
Fluidos de proceso en general	0.34 a 1.03

Fuente: Moncada Albitres, L. (2006). *Intercambiadores de Calor*. Trujillo, Perú.

2.1.2. Calidad de la Leche

La calidad de la leche y sus productos derivados vendidos comercialmente en el mercado mundial y nacional depende y tienen como factor determinante la calidad de la materia prima inicial conocida como leche cruda. Acorde a la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) no sería posible obtener productos lácteos de buena calidad sino se cuenta con una leche cruda que posea la misma calidad (FAO, 2018).

Y es que al hablar del término calidad no siempre se atiende al sentido complejo que se le tiene que dar, ya que la leche secretada de los vacunos adquiere individualmente características fisicoquímicas que determinan su composición y por ende su calidad (H. Magariños, 2000). Así al referirnos al término “calidad” se da a entender a todo el conjunto de características inherentes al producto, en este caso la leche, que permitan cubrir las necesidades de los consumidores (MINAGRI, sf). Un medio físico inadecuado, el mal estado de salud del animal y los métodos deficientes de producción pueden llegar a contaminar, transformar sus características y convertir este alimento nutritivo en una sustancia manzana y

peligrosa para la salud de quien la consuma. Por tal estos factores son determinantes al momento de analizar la calidad de la leche, pues si no son controlados acaban modificando la composición y la calidad de la leche (H. Magariños, 2000).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, para asegurar la buena calidad de los lácteos se debe contar con una leche libre de residuos o sedimentos, sustancias químicas, antibióticos y detergentes. A su vez contar con una cantidad de bacterias baja y carecer de color, olor, composición y acidez anormal (FAO, 2018). Es por tal que se hace necesario un control de calidad teniendo en cuenta estos factores para realizar las pruebas que determinen si se tiene una leche de calidad apta para consumo humano.

Tabla 7

Criterios de Calidad y factores que se evalúan en la leche Cruda

Criterio de Calidad	Factores que evalúa
<i>Calidad Composicional</i>	Características fisicoquímicas de la leche, principalmente: Contenido de sólidos totales, proteína y grasa; así como también la acidez.
<i>Calidad Higiénica</i>	Contenido de gérmenes totales, presencia de residuos o sedimentos, sustancias químicas, antibióticos y detergentes.
<i>Calidad Sanitaria</i>	Contenido total de células somáticas, para determinar si es una leche proveniente de un animal enfermo (mastitis, brucelosis, tuberculosis).
<i>Calidad Estética u Organoléptica</i>	Impurezas físicas, sabores anormales, olores y colores anormales

Fuente: López Ruiz, A. L., & Barriga Velo, D. (2016). La leche, composición y características. (P. A. Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Ed.) *Tecnología de Postcosecha. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural*, pp. 27-34.

De tal manera, la calidad de la leche ha sido agrupada de acuerdo al control que ejercen los distintos factores que afectan este alimento, obteniéndose los siguientes criterios: Calidad Composicional, Calidad Higiénica, Calidad Sanitaria, Calidad estética (A. L. López Ruiz &

D. Barriga Velo, 2016). En la Tabla 7 se puede observar los distintos factores que evalúa cada criterio de calidad, siendo entre estos de especial mención la calidad higiénica de la leche, la cual tiene una importancia fundamental para la producción de una leche y productos derivados idóneos para los usos previstos y el consumo humano.

2.1.2.1. Calidad Higiénica

Cuando se habla de calidad higiénica normalmente se hace referencia al nivel de higiene y carencia de sustancias químicas en una leche que ha atravesado distintas fases de producción, ya sea ordeño, almacenamiento, transporte y transformación. Dentro de esta se hace especial énfasis al recuento total de bacterias ya que la leche, vista desde el punto de vista microbiológico es un medio propicio para el desarrollo de bacterias, levaduras, y virus; de los cuales cierto grupo pueden llegar a alterar las propiedades físicas u organolépticas y otro grupo puede ser perjudicial para la salud de quien lo consuma. (A. L. López Ruiz & D. Barriga Velo, 2016).

En tal sentido se puede denotar que, dentro de la calidad higiénica, es necesario evaluar la calidad microbiológica de la leche por la influencia que tiene el número de bacterias en los demás factores evaluados para que este producto sea de calidad. Ya que el crecimiento bacteriano es un factor determinante, en la praxis el único medio de prolongar la vida útil de la leche cruda sin que se alteren sus características iniciales es prevenir o detener la reproducción bacteriana a través de un enfriamiento tan rápido como sea posible apoyado por buenas prácticas de manejo de la leche (P.R. Hayes, 1993).

La calidad microbiológica se puede expresar como recuento total de bacterias, siendo este el indicador de la reproducción bacteriana en la leche y expresado en unidades formadoras de

colonia por mililitro (ufc/mL). (Heimlich & Carrillo, 1995)

2.1.2.2. Pagos en base a la calidad higiénica de leche

Los pagos de leche cruda en base a su calidad han constituido a lo largo de los últimos años en distintos países en desarrollo, una herramienta primordial para alcanzar niveles de excelencia empresarial en cuanto a producción total, calidad y éxito comercial en la venta de leche y productos lácteos derivados (H. Magariños, 2000). De acuerdo a este contexto, Kruze explica que la calidad microbiológica, teniendo como indicador el recuento total microbiano, permite evaluar la excelencia en las condiciones con las que se llevaron a cabo los procesos de extracción, almacenamiento y transporte del lácteo (C. Rosenfeld, 2001, p.4). Es por tal la necesidad tanto en Perú como en distintos países, que este indicador sea clave para la clasificación de la leche al momento de su recepción en las grandes plantas, y el pago que estas dan a través de bonificaciones acorde a su tipificación (IDF/FIL, 2000).

Los objetivos de un pago según la calidad de la leche son asegurar a los productores un precio equitativo de la leche al momento de venderlo a la industria compradora de acuerdo a la calidad real del producto, así como producir un estímulo económico para lograr la mejora de la composición del producto y sus condiciones higiénicas (H. Magariños, 2000).

En las grandes plantas procesadoras de leche, acorde al recuento microbiológico la leche es clasificada en distintos rangos para los que se establecen bonificaciones o descuentos, correspondiente a una unidad monetaria por litro o un porcentaje del precio (M. Pinto, B. Carrillo & C. Vidal, 2002). Si bien las industrias procesadoras no basan obligatoriamente su pago en un esquema reglamentado por el Estado, cada una puede recurrir o no la clasificación

dada por este si es que existiese; o adoptar una clasificación propia de una norma internacional. (H. Magariños, 2000).

En Perú se tiene una clasificación, propuesta en el Proyecto de Norma Andina PNA 16 003:2007 basada en la Norma ISO 8553, en la que se clasifica la leche acorde al contenido de microorganismos como: A o Buena, B o regular, C o Mala, D o muy mala (Tabla 8).

Tabla 8

Clasificación de la leche cruda de acuerdo al contenido de microorganismos según ISO 8553

Categoría	Contenido de Microorganismos (UFC/cc)
A (Buena)	Hasta 500,000
B (regular)	Desde 500,000 hasta 1,500,000
C (mala)	Desde 1,500,000 a 5,000,000
D (muy mala)	Más de 5,000,000

Fuente: Minagri. (2007). Leche Cruda: Requisitos. Obtenido de Porta del Ministerio de Agricultura del Perú.

Aunque la clasificación basada en la ISO 8553 es correcta, en la industria peruana existente se adecua y amplía tal clasificación, respetando los parámetros de la Norma en cuanto a los tipos regular, mala y muy mala; agregando más categorías para aquella leche de buena calidad (Tabla 9 y Apéndice 1)

Tabla 9

Clasificación, Bonificaciones y Descuento según UFC/mL de Leche Cruda

Calidad de la Leche	Bonificación o descuento (soles /kg de leche)	UFC/mL
A++	0.1	0 a 50,000
A+	0.075	50,000 a 150,000
A	0.05	150,000 a 300,000
B	0.025	300,000 a 500,000
C	0	500,000 a 1,500,000
D	-0.025	1,500,000 a 5,000,000
E	-0.05	más de 5,000,000

Fuente: Apéndice 1 “Entrevista a Expertos”. Elaboración propia

2.2 Sistemas de refrigeración

La refrigeración en la actualidad es uno de los métodos más usados y baratos para la conservación de alimentos perecibles. Aproximadamente entre un 30% a 50 % de los alimentos se pierden en los depósitos, transporte y puntos de venta por no contar con las condiciones adecuadas, por lo cual la refrigeración se hace una opción atractiva ya que disminuye tales pérdidas. Así también, cuentan con menos costos frente a otros sistemas de conservación como son los enlatados. (Aguiló, 2000, pp. 2-4).

En los últimos años el uso de los sistemas de refrigeración ha demostrado ser de gran vitalidad en los procesos involucrados en la conservación de alimentos perecibles con un periodo de almacenamiento a corto plazo por su costo relativamente bajo frente a los de congelación (F.E. Mansilla, 2014). Y es que su desarrollo se ha llevado conforme avanza el tiempo acorde a las distintas necesidades existentes en la población partiendo del concepto principal, basado en transferir el calor que no se necesita de regiones que requieren una temperatura inferior a regiones con temperaturas más elevadas. (Guanipa, 2010, p. 4).

Por su parte, la aplicación de los sistemas de refrigeración desde el punto de vista energético, demuestra que se encuentran entre las alternativas más económicas para conservar el estado de los alimentos. Es por tal el constante afán de encontrar la mejor forma de operar con estos. (Aguiló, 2000, p. 1). De tal manera, aunque el consumo de energía en refrigeración sea menor que con otros sistemas, es necesario buscar la mejor alternativa para un uso racional; la elección del sistema de control de flujo del refrigerante, así como la elección de este mismo son de gran importancia para lograr la eficiencia deseada (Aguiló, 2000, pp. 2-4).

2.2.1. Conceptos involucrados en los sistemas de Refrigeración y Enfriamiento

La refrigeración al ser un proceso para transferir calor de un lugar a otro, junto con la congelación son importantes en el momento de conservar y extender el almacenamiento de alimentos, ya que protege a estos contra microorganismos, bacterias y la descomposición química (Cengel, 2007, p. 258). En la industria, cuando se hace referencia a la refrigeración aplicada de forma común a los alimentos, se entiende por tal a aquella que comprende los procesos de enfriamiento de estos sin que se produzca un cambio de fase, por lo general a temperaturas comprendidas entre 2 a 5 °C. De distinto modo, cuando se usa el término de congelación se hace referencia a tres procesos: el enfriamiento hasta el punto de congelación de los alimentos al eliminar su calor sensible, su congelación al eliminar su calor latente, y el enfriamiento adicional hasta la temperatura objetivo (Figura 1). De tal forma, las temperaturas obtenidas por congelación suelen variar entre los 0°C y los -30°C. (Cengel, 2007, p. 258; F.E. Mansilla, 2014).

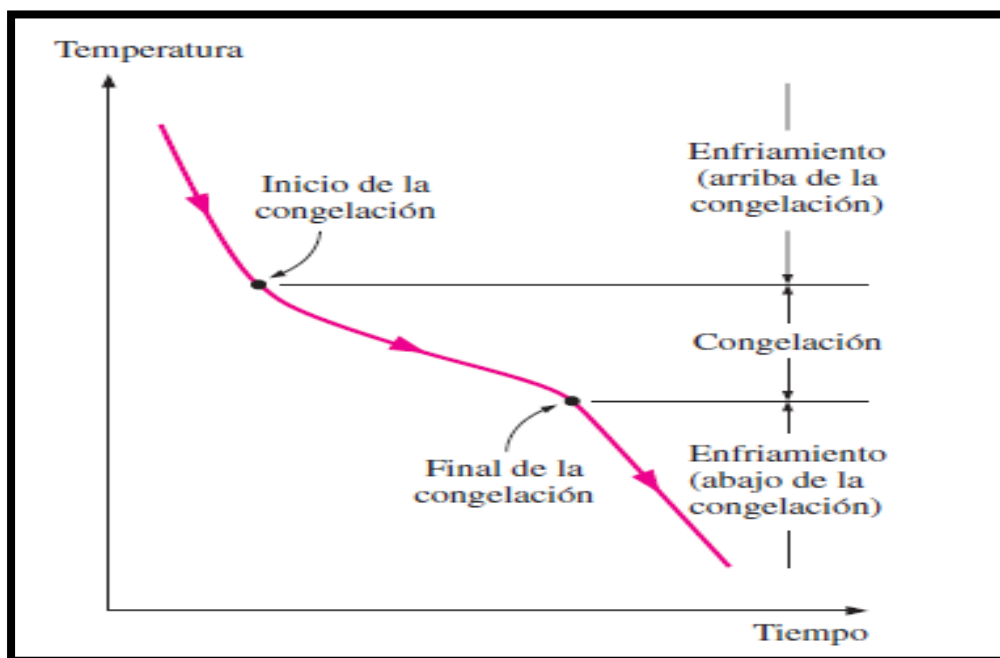


Figura 1: Curva de Congelación típica de un producto alimenticio

Fuente: Fuente: Cengel, Y. A. (2007) Transferencia De Calor Y Masa: Un Enfoque Práctico/Yuns A. Cengel;

Rev. Sofia Faddeera (No. TJ260. C38 2007.), p. 259

2.2.2. Tipos de Sistemas de Refrigeración

Hay distintos tipos de sistemas que se usan para el enfriamiento y refrigeración de alimentos. Guanipa (2010) menciona dos tipos de sistemas de refrigeración: los de absorción y los que son por compresión (p. 6).

Los sistemas por absorción en su mayoría son con los que se cuentan en los hogares y en los sistemas de aire acondicionado. Por lo general, su funcionamiento inicia al calentar una solución de amoníaco para conseguir desprender este en forma de calor y pase a ser licuado en un condensador. Luego de este proceso circulará a un evaporador, y posteriormente será absorbido por una disolución diluida para formar nuevamente una solución concentrada de amoníaco. (Guanipa, 2010).

Por su parte los sistemas por compresión son los más utilizados en la industria, y están conformados por los 4 componentes fundamentales del ciclo de refrigeración los cuales son: el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador. Su funcionamiento básicamente empieza en el evaporador donde se hace subir la temperatura del refrigerante hasta evaporarlo. Posterior a este proceso el refrigerante en estado gaseoso, pasa a un compresor en donde a través de presión se aumenta la temperatura con el fin de que el refrigerante se vuelva líquido al pasar por un condensador refrigerado por aire o agua. Por último, este se envía a una válvula de expansión donde la presión y temperatura decaen hasta tener las condiciones que se encuentran en el evaporador. (Guanipa, 2010, p. 7).

Aguiló (2000) nos muestra otra clasificación: los sistemas de refrigeración tradicional y los sistemas con refrigerante secundario (pp. 4-5). La principal diferencia entre los sistemas de refrigerante secundario con los tradicionales se halla en que en sus instalaciones se realiza el

ciclo de refrigeración como en el tradicional, pero a la par en un evaporador se va enfriado otro fluido conocido como refrigerante secundario haciéndolo fluir ayudado de la potencia de una bomba a donde se encuentran los intercambiadores de calor (Figura 2).

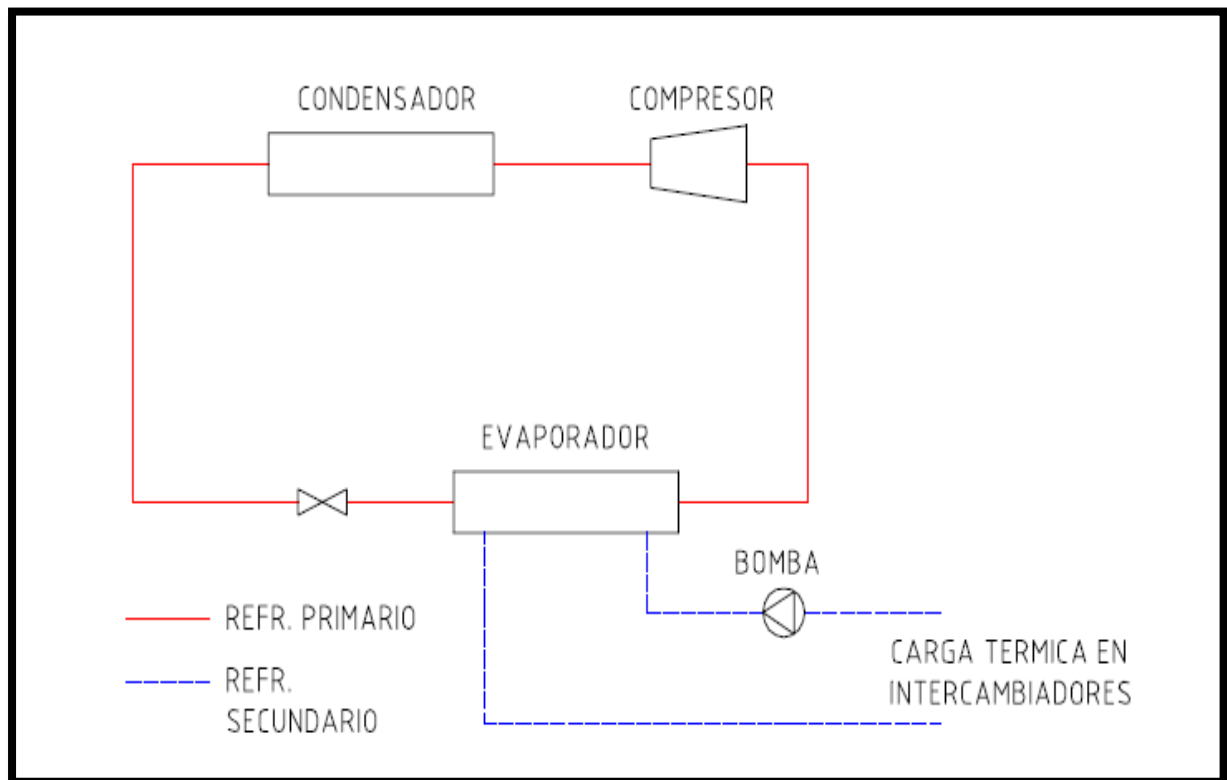


Figura 2: Esquema de funcionamiento de Sistema de refrigerante Secundario

Fuente: Aguiló, R. R. (2000). Comparación de sistemas de refrigeración, ventajas, desventajas, impacto ambiental.

Dentro de las dos clasificaciones antes mencionadas, la dada por el último autor es mucho más específica. En esta se puede identificar a los sistemas con Ice Slurry en una subclasificación que diferencia a los fluidos secundarios de fase única con los fluidos de cambio de fase, mencionando a este como un fluido de cambio de fase.

2.2.3. Componentes fundamentales de un Sistema de Refrigeración

Todo sistema de enfriamiento obedece a un principio básico el cual se encuentra en el ciclo

de refrigeración de Carnot (véase Figura 3). Aunque en la práctica, estos gráficos realizados por el autor que le da el nombre, tienen ciertas variaciones a los procesos ideales que se presentan en la teoría.

De tal forma la mayoría de estos sistemas se encuentran equipados y conformados por los 4 componentes fundamentales del ciclo de refrigeración los cuales son: el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador (Guanipa, 2010, p. 7). Adicional a estos componentes, cuando se busca un enfriamiento sin contacto, se suele hacer uso de intercambiadores de calor aparte de los condensadores o evaporadores, los cuales son muy importantes para aplicaciones donde se tiene que enfriar líquidos.

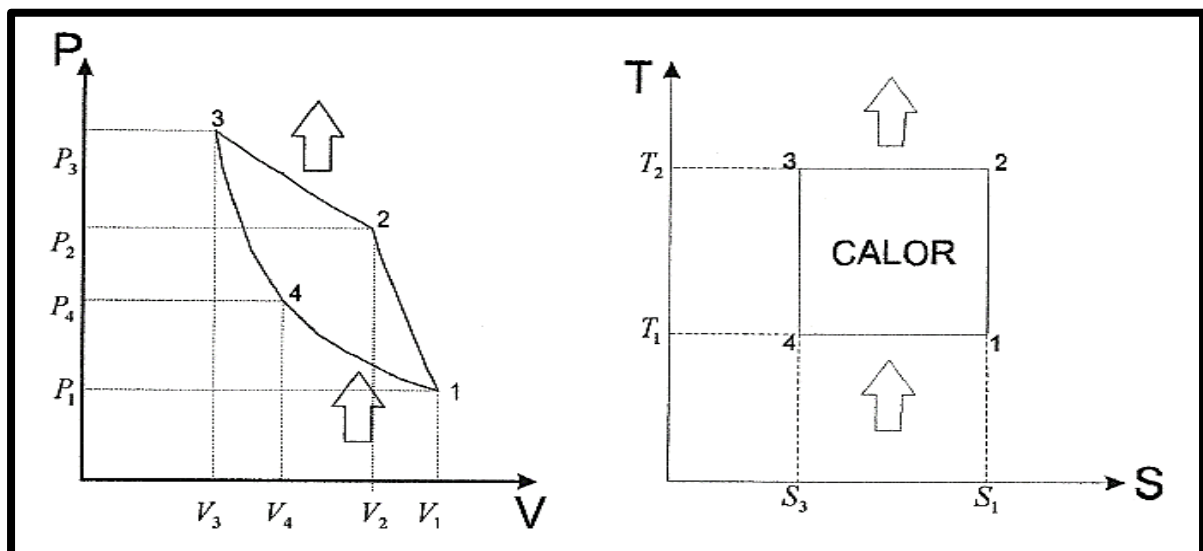


Figura 3: Ciclo de Refrigeración de Carnot, Relación Presión- Temperatura y Relación Temperatura- Entropía

Fuente: Hernández, G., & Rojas Carmona, E. (2009). Análisis de Cálculo, Diseño y Mantenimiento de una Cámara de Refrigeración utilizado en Productos Perecederos a 4°C (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México.

A. Compresor

Un compresor no es más que un dispositivo mecánico que compone un sistema de refrigeración, utilizado para aumentar la presión, y por efecto termodinámico también la temperatura de un refrigerante en estado gaseoso. Si lo vemos como una analogía con el cuerpo humano este componente del sistema de refrigeración vendría a ser como el corazón, cumpliendo así una función vital en el sistema (Hernández & Rojas Carmona, 2009, pp. 34-35).

En tal sentido hay distintos tipos de compresor, sin embargo, los principales son: el scroll, centrífugo, el helicoidal rotatorio, y el reciprocante (véase Tabla N° 10). Dentro de todos estos mencionados cada uno posee un distinto funcionamiento y esto por lo general influye en la aplicación que se les pueda dar. Para el caso de aplicación en la mayoría de industrias dedicadas a la refrigeración se suele usar compresores de tipo pistón, no siendo la excepción su uso en los sistemas de generación de Ice Slurry (Fujian Snowman CO., 2017; G. Hernández & E. Rojas Carmona, 2009).

Tabla 10

Tipos de Compresores y su aplicación

Tipo	Aplicación
Centrifugo	Empleado por lo general en Chillers de agua helada en grandes instalaciones
Helicoidal rotatorio	Su principal aplicación se halla en sistemas chillers, sin embargo, requiere grandes esfuerzos en mantenimiento para asegurar ausencias de vibraciones por cojinetes o rodamientos.
Scroll	Al ser muy silencioso por lo general es usado en sistemas de aire acondicionado de instalaciones domésticas.
Reciprocante o de pistón	Cualquier tipo de sistemas de refrigeración

Fuente: Hernández, G., & Rojas Carmona, E. (2009). Análisis de Cálculo, Diseño y Mantenimiento de una Cámara de Refrigeración utilizado en Productos Perecederos a 4°C (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México. Elaboración propia

B. Condensador

Es un tipo de intercambiador que se encarga de expulsar el calor proveniente del refrigerante al agua, la solución líquida, el aire o gas (Archila López & Solórzano Beltrán, 2008, p.51). Los condensadores cumplen la función de enfriar el gas refrigerante u otros vapores ya sea por flujo cruzado gas-aire o gas-agua, y por lo general estos se encuentran involucrados en los procesos de cambio de fase (Hernández & Rojas Carmona, 2009, pp. 34- 35).

Las definiciones aportadas tanto por Archila y Solórzano (2008) así como por Hernández y Rojas (2009), coinciden en la aplicación de usar el condensador para enfriar el refrigerante. Sin embargo, los últimos mencionan que se realiza tal acción utilizando un flujo de gas - aire o gas - agua, dejando de lado cualquier otro tipo de sustancia o solución aplicable a estos fines. Por tal, la definición que proponen Archila y Solórzano sería mucho más cercana y completa si se habla de sistemas de refrigeración como lo son aquellos que producen Ice Slurry; ya que tales incluso pueden trabajar con salmueras u otras soluciones líquidas.

En el caso de los sistemas de generación de Ice Slurry existentes en el mercado, se suele usar en su mayoría condensadores de tipo serpentín o tipo ventilador; los cuales enfrían el refrigerante haciendo uso de agua o aire respectivamente (Fujian Snowman CO., 2017).

C. Válvula de expansión

Son equipos que se encargan de retener el diferencial de presión establecido por el compresor, facilitando así una temperatura de evaporación que haya decrecido lo suficiente como para absorber el calor del aire interno. A su vez estos equipos también se encargan de permitir la condensación a la presión con la que cuenta el evaporador (Hernández & Rojas Carmona, 2009, pp. 38).

De tal forma en su mayoría estas válvulas son utilizadas en el control del refrigerante, al dosificarlo por acto de la medición de las condiciones de vapor en la salida del evaporador. (Hernández & Rojas Carmona, 2009, pp. 38).

D. Evaporador

Son un tipo de intercambiadores, los cuales a través de un proceso de expansión se encargan de proporcionar un enfriamiento a fluidos. Por lo general conforman sistemas de enfriamiento como los wáter chillers y sistemas de aire acondicionado. (Archila López & Solórzano Beltrán, 2008, p.51).

Si buscamos definir este componente fundamental en la refrigeración podemos entenderlo como un intercambiador de calor que transfiere la energía calorífica de una solución líquida, agua, o la combinación de estas a un refrigerante fresco en estado líquido (Hernández & Rojas Carmona, 2009, pp. 34- 35).

Su funcionamiento en cualquier sistema de enfriamiento que estos operen se halla básicamente en producir una expansión de un gas, el cual puede ser un refrigerante que circula a través de los tubos y consigue la reducción de temperatura del fluido que se encuentra en la carcasa. (Archila López & Solórzano Beltrán, 2008, p.51).

Aunque los evaporadores más comunes son el aleta-tubo y el carcaza-tubo existe una vasta clasificación (Hernández & Rojas Carmona, 2009, p. 34). En la Tabla 11 se puede observar un compendio de los principales tipos de evaporadores que existen, entre los cuales según su aplicación los que son del tipo acumulador de frío tienen aplicación en los sistemas de enfriamiento utilizados por industrias lácteas y cerveceras.

Tabla 11

Clasificación y sub-clasificación de los principales evaporadores

Clasificación	Sub-clasificación
Clasificación según el método de alimentación del Refrigerante	Evaporadores de expansión seca
	Evaporadores inundados
	Evaporadores de tubos lisos
Clasificación según el tipo de construcción	Evaporadores de tubos lisos
	Evaporadores de superficie ampliada con aletas
	Evaporadores enfriadores de líquido Baudelot
	Evaporadores enfriadores sumergidos
Clasificación según su aplicación	Evaporadores enfriadores de circuito cerrado
	Evaporadores acumuladores de frío (Aplicación en cerveza y leche)

Fuente: Hernández, G., & Rojas Carmona, E. (2009). Análisis de Cálculo, Diseño y Mantenimiento de una Cámara de Refrigeración utilizado en Productos Perecederos a 4°C (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México

Elaboración propia

En los equipos de generación de Ice Slurry más usados en la industria, los sistemas de rascador, se trabaja con los evaporadores acumuladores de frío; constituido por dos cilindros coaxiales separados por un espacio en donde se produce la evaporación del refrigerante primario a través del anillo exterior y transmitiendo el frío al fluido secundario a través de la pared interna y formando los cristales de hielo en la misma pared, siendo desprendidos por un sistema de rascador mezclándose así los cristales con el seno del fluido y generando un caudal de hielo líquido en la salida del evaporador (F.I. Gómez, 2008).

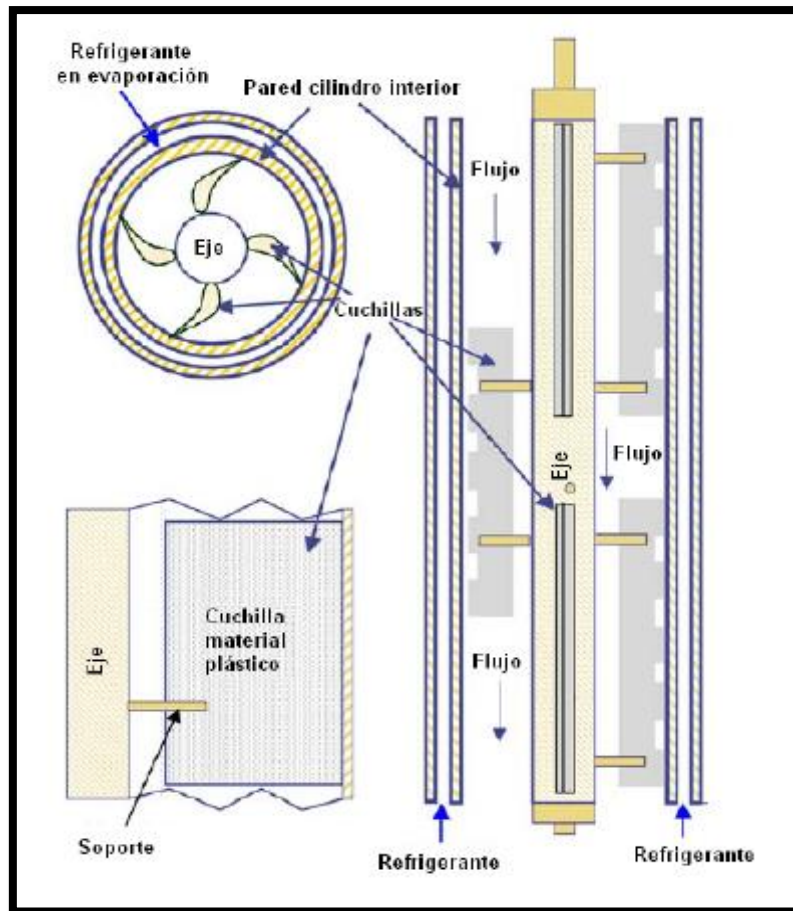


Figura 4: Evaporador de un sistema de generación de Ice Slurry tipo rascador

Fuente: Gómez, F. I. (2008). *Caracterización experimental del comportamiento termo-hidráulico del hielo líquido generado a partir de disoluciones de NaCl: aplicación a cambiadores de calor* (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena).

2.2.4. El proceso de enfriamiento de la leche Cruda

El proceso de enfriamiento al que se somete a la leche salida del ordeño de la vaca tiene como objetivo mantener su calidad alimenticia hasta la hora de su consumo, uso o transformación. En ningún caso este proceso mejora la calidad del producto, lo que en realidad consigue es reducir la proliferación de los microorganismos alargando así el tiempo de su conservación y por ende su utilización. (E. Molina Ramírez & A. Calderón Horta, 1985).

2.2.4.1. Enfriamiento de la Leche Cruda

La refrigeración de la leche cruda para su conservación, involucra un proceso de enfriamiento de la leche que consiste en bajar su temperatura desde que sale de la vaca hasta una temperatura adecuada para disminuir la reproducción de microorganismos. Por lo general, la leche sale de la vaca a unos 38 °C y se le enfría hasta conseguir una temperatura inferior a 5 °C. (A. Rivadeneira Candel, G. Simon, G. & C. Verdezoto, 1993; E. Molina Ramírez & A. Calderón Horta, 1985).

La leche, es un alimento nutritivo, pero también un medio de cultivo excelente para cualquier tipo de gérmenes, y es que al momento de salir de la ubre de la vaca ya cuenta con algunas bacterias provenientes de las glándulas mamarias. De acuerdo a estudios, una ubre sana y en condiciones normales de ordeño puede aportar 1000 UFC/ml; para lo cual el único método aceptado para reducir la reproducción bacteriana y obtener un producto con la calidad deseada, es enfriarla y conservarla a una temperatura aproximada de 3 o 4 °C. (S. Hazard & M. Christen, 2006; A.C. Ramos, 1994).

2.2.4.2. Buenas Prácticas en el enfriamiento de la leche

En lo que concierne a las buenas prácticas en el acopio y procesamiento de la leche, son de vital importancia aquellas enfocadas especialmente en el manejo de la leche y aquellas involucradas con el ahorro y eficiencia energética. Esto debido a que las buenas prácticas en el manejo de la leche proporcionan una mejor calidad de esta, mientras que las prácticas de ahorro y eficiencia energética permiten realizar los procesos clave involucrados en el procesamiento de la leche con menores costos. (D.J. Bartolomé Rodríguez, R. Posado Ferreras, J. García García, R. Bodas Rodríguez, B. Fonseca Rodríguez, M.J. Tabernero de Paz Risueño & G. Río Briones, 2011).

Como se mencionó con anterioridad, el enfriamiento de la leche es el método más aceptado para lo que es reducir la reproducción de bacterias y mantener la calidad en el producto; sin embargo, también es uno de los procesos que posee más consumo energético, siendo el segundo proceso más caro en términos energéticos luego del ordeño. (D.J. Bartolomé Rodríguez et al., 2011).

Como las principales prácticas implementadas en las explotaciones lecheras para mejorar el ahorro y la eficiencia energética Bartolomé Rodríguez et al. (2011) reconocen que las que aportan más en el procesamiento de la leche cruda son el uso de intercambiadores de calor de placas para el enfriamiento, el pre-enfriamiento de la leche, el uso de recuperadores de calor, y la revisión de facturas eléctricas (pp. 23- 43).

2.2.4.3. Pre - enfriamiento de la Leche Cruda

El proceso de enfriamiento de la leche tiene lugar con el uso equipos de refrigeración como los tanques de frío, bancos de hielo o chillers, hasta bajar la temperatura del producto hasta un máximo de 5 °C, siendo uno de los procesos que involucra mayores consumos eléctricos (Apéndice 1). A fin de reducir los costos de consumo eléctrico se suele aplicar un previo enfriamiento de la leche mediante un intercambiador, haciendo que la leche ceda parte del calor que tiene al momento de ser extraída de la vaca por ordeño a otro fluido consiguiendo una reducción de temperatura del lácteo entre unos 17 a 23°C (Figura 5) aproximadamente antes de enfriarse (D.J. Bartolomé Rodríguez et al., 2011). Esto permite ahorrar en el uso del equipo de frío, pues la cantidad de calor requerido para hacer descender la temperatura del producto será menor; por ende, la potencia y el tiempo de uso del equipo también lo serán, logrando así una reducción de costos. (Apéndice 1).

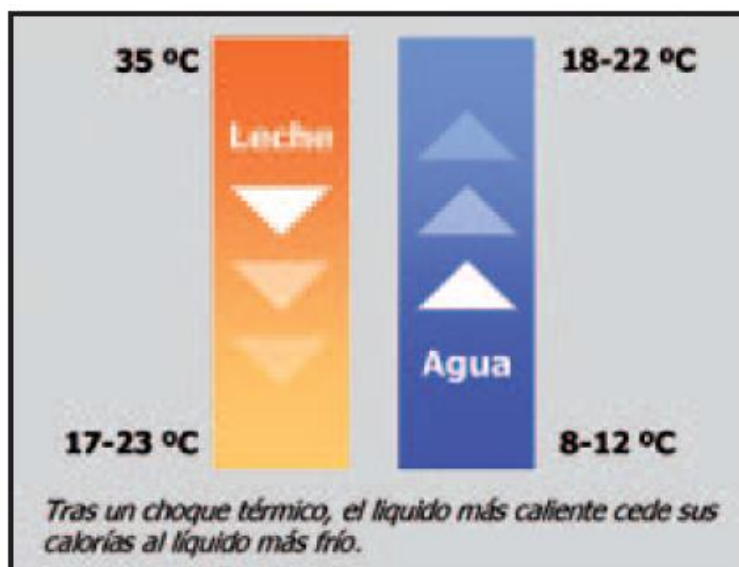


Figura 5: Esquema del funcionamiento del pre-enfriamiento de la leche cruda

Fuente: Bartolomé Rodríguez, D. J., Posado Ferreras, R., García García, J., Bodas Rodríguez, R., Fonseca

Rodríguez, B., Tabernero de Paz Risueño, M. J., & Río Briones, G. (2011). *Manual de Buenas prácticas de ahorro y eficiencia energética en explotaciones de vacuno lechero*. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.

Normalmente para el pre-enfriamiento se hace que la leche intercambie calor con agua de red o de un pozo, que se encuentra a temperatura ambiente; por lo cual la temperatura de la leche puede variar en unos cuantos grados al momento de salir del intercambiador de calor usado previamente al proceso de enfriamiento de acuerdo a las condiciones climáticas y estacionales de la zona (D.J. Bartolomé Rodríguez et al., 2011). Si bien la mayoría de autores coinciden en que el rango de temperatura a la cual se encuentra la leche luego del previo enfriamiento se halla entre los 17 a 23 °C, para zonas como las de Arequipa las temperaturas a las cuales se puede conseguir este pre-enfriado del lácteo son como máximo de 24°C y como mínimo de 20°C; esto debido a lo explicado anteriormente en la influencia que tiene las condiciones climáticas y estacionales de la zona (Apéndice 1).

2.2.4.4. Intercambiadores de Calor

Un intercambiador de calor es todo aquel dispositivo diseñado para la transferencia de energía calorífica entre dos fluidos, por lo general de un fluido a otro, sea que estos se encuentren separados por una barrera sólida o estén en contacto. Estos son una parte fundamental de los sistemas de enfriamiento y refrigeración, de aire acondicionado y de procesamiento químico. (Archila López & Solórzano Beltrán, 2008, p.24).

Si lo vemos de una forma más sencilla un intercambiador de calor sería cualquier equipo o dispositivo utilizado dentro de un sistema de refrigeración para transferir calor desde una corriente de un fluido caliente a otra conformada por uno frío (González Núñez, 2007, p. 14).

Ambas definiciones propuestas por estos autores concuerdan en que este componente de los sistemas de refrigeración transmite calor desde un flujo a otro. Sin embargo, aunque la definición aportada por González (2007) permite una forma más sencilla de comprender el concepto, la aportada por Archila y Solórzano (2008) es mucho más completa. Es así que en forma general podemos decir que un intercambiador de calor no es más que un aparato que se encarga de realizar el intercambio de calor entre dos fluidos al tenerlos separados por una barrera sólida (Cengel, 2007, p.609).

El uso de intercambiadores de calor goza de ciertas ventajas al momento de realizarse el enfriamiento de la leche comparado con otros sistemas de enfriamiento. La más notoria es que este produce un enfriamiento constante con la temperatura requerida de la leche a lo largo del tiempo desde que se inicia el proceso hasta que culmina (Figura 6); permitiendo por tal mantener una leche con mejor calidad que la obtenida por otros sistemas tales como las panzas frías, en los cuales se hace descender la temperatura de a pocos a lo largo del tiempo (Packo, 2018).

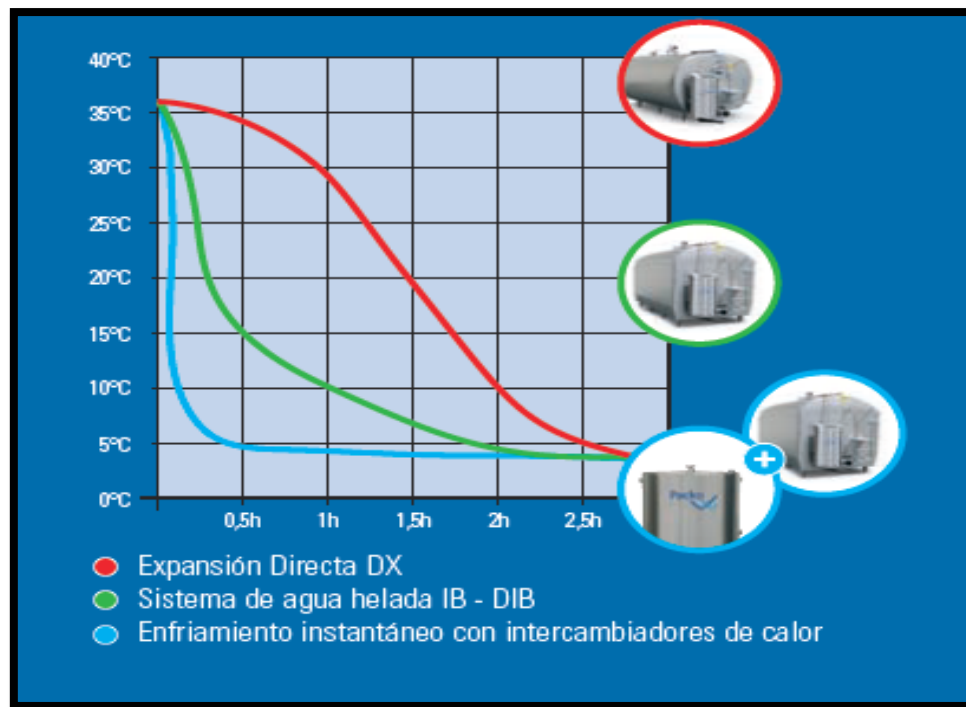


Figura 6: Sistemas de enfriamiento en carrera contra reloj

Fuente: Packo. (2018). *Tecnología de Enfriamiento, pensada en la necesidad del productor de leche moderno.*

Obtenido de Packo Cooling: <http://www.packocooling.com/milkcooling/datasheets-es/folleto-tecnologia-de-enfriamiento.pdf>

2.2.4.4.1. Intercambiadores de Calor de Placas

Al igual que los demás intercambiadores de calor, la función principal de uno del tipo placas es la de transmitir calor desde un flujo a otro. Sin embargo, este presenta peculiaridades debido a su diseño y materiales utilizados en su construcción (Figura 7).

Por lo general, consisten de una armazón de placas corrugadas de metal las cuales permiten una mayor área de transferencia de calor por conducción, que aquellas placas planas. Tal armazón, incluye placas fijas en los extremos, las cuales no transfieren calor, pero cumplen una función de dar presión a la serie de placas que se encuentran al medio de estas. Cada placa es presionada una contra la otra, de tal manera que las corrugaciones forman estrechos canales para que circulen los fluidos apoyadas de empaquetaduras que dan la configuración

del flujo, y además evitan su contacto directo haciendo casi imposible la mezcla del producto a enfriar con el refrigerante secundario al proveer un doble sello entre las corrientes de estos. (L. Moncada Albitres, 2006)

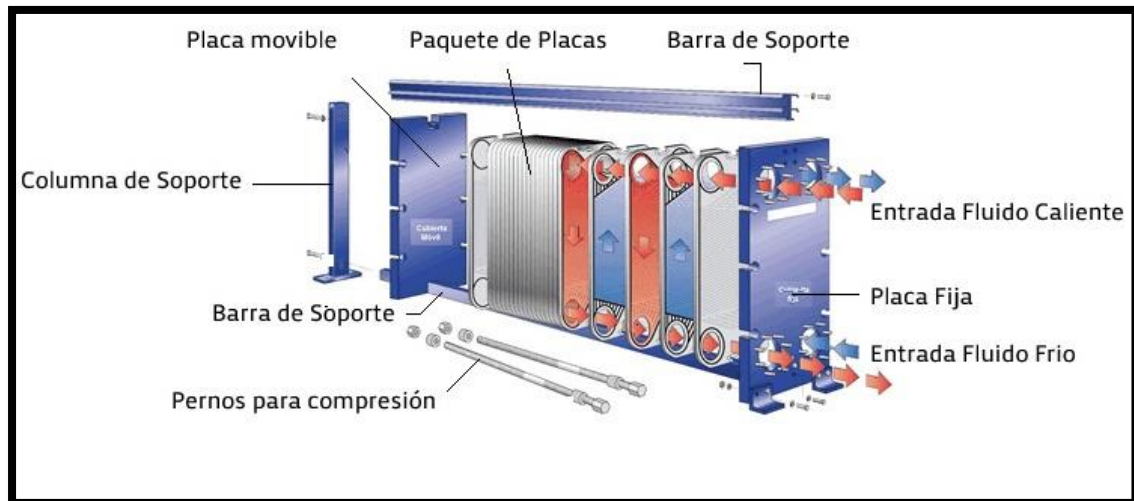


Figura 7: Partes de la armazón de un intercambiador de placas

Fuente: Alderetes, C., & Maiocchi, M. (2001). Intercambiadores de Calor de Placas, Cálculo y selección de equipos. Buenos Aires, Argentina.

En lo que concierne aplicaciones de los intercambiadores de calor en la industria de los alimentos, el intercambiador de placas es aquel que goza de mayor interés en lo que concierne al sector de la industria láctea. Teniendo uso en los procesos de enfriamiento de leche y yogurt, pasteurización de la leche, cremas de leche y helado (C. Alderetes & M. Maiocchi, 2001; A. García Gómez, 2008).

Comúnmente, cuando se trata de fluidos como la leche estos intercambiadores tienen un arreglo a contraflujo. La razón es por la ventaja que otorga este tipo de intercambiador, ya que al circular los fluidos en direcciones contrarias se incrementa el delta de temperatura y se favorece a la transferencia de calor. Es así que, en lo concerniente a procesos de enfriamiento y pasteurización de lácteos, este tipo de configuración para tales intercambiadores es de gran

utilización en la industria (C.G. Morales Ramírez, 2013).

Sin duda, en lo que se refiere a ventajas, estos equipos ofrecen una buena cantidad frente a otro tipo de intercambiadores que los hacen atractivos al momento de seleccionarlos (L. Moncada Albitres, 2006). Entre las principales ventajas que ofrecen los intercambiadores de placas están:

- Una Mayor área de transferencia por unidad de volumen.
- Ahorro de espacio en las instalaciones.
- Altas flexibilidades en el diseño de las áreas de transferencia y arreglos de flujos.
- Tiene la posibilidad de operar con más de dos fluidos.
- Alta turbulencia, que ocasiona un coeficiente de película elevado y baja incrustación; lo cual lleva consigo una disminución en el área necesaria para la transferencia de calor
- Bajas caídas de presión.
- Facilidad para adaptar, extender o reparar la unidad para incrementos o modificaciones de las cargas térmicas requeridas.
- Mayor facilidad de mantenimiento.
- Temperaturas aproximadas a las realizadas en los cálculos de diseño.

Además de las ventajas mencionadas, ofrece menores costos de instalación así como los de operación frente a otros tipos de intercambiadores (Figura 8). Esto último, debido a que al tener un requerimiento mínimo de energía para bombear los fluidos se consigue costos de operación menores comparados con otros equipos usados en la industria como los de tipo tubular (L. Moncada Albitres, 2006).

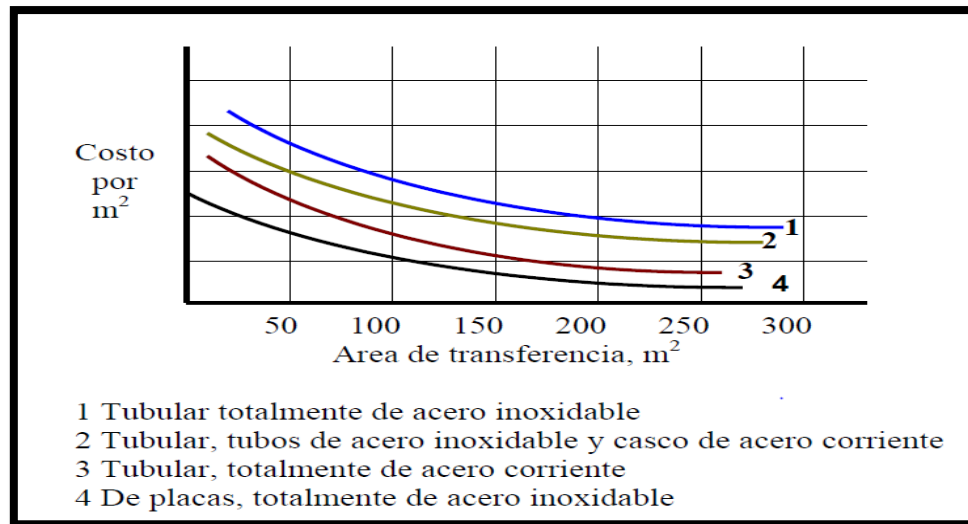


Figura 8: Comparación de costos para intercambiadores

Fuente: Moncada Albitres, L. (2006). “Diseño de plantas de Procesos Químicos” Intercambiadores de Calor. Trujillo, Perú.

Las ventajas antes mencionadas, solo son aprovechables si es que se siguen un correcto diseño y selección del equipo de acuerdo a las necesidades de producción. Por lo general, si se desea adquirir un equipo de estos se debe realizar ciertos cálculos preliminares para la selección adecuada de acuerdo a la necesidad de la empresa; y aunque los fabricantes ya tienen sus propios procedimientos de diseño en Software especializados, existen métodos de diseño adaptables para la selección del intercambiador que permiten obtener resultados preliminares dables (C. Alderetes & M. Maiocchi, 2001). Entre tales, están los métodos propuestos por autores como Raju & Chand, Haslego & Polley, y el de Moncada Albitres; que otorgan base para el diseño de este tipo de intercambiadores. De entre estos, el método alternativo presentado por Moncada Albitres (Anexo 1) goza de mayor practicidad al momento de aplicarlo a la selección del equipo de acuerdo a las características técnicas de los intercambiadores de placas existentes en el mercado (Anexo 2); así como las propiedades de los fluidos intervinientes en la transferencia de calor realizada en este. (C. Alderetes & M. Maiocchi, 2001; L. Moncada Albitres, 2006).

2.2.4.5 Principales sistemas de enfriamiento de Leche

2.2.4.5.1. Chiller

Son unidades de enfriamiento, las cuales permiten hacer descender las temperaturas de agua cercanas a los puntos de congelación para poder usarla en distintas aplicaciones. Estos constan de dos elementos adicionales a los elementos típicos de un ciclo de refrigeración, un evaporador y un condensador, los cuales son indispensables para la transferencia de calor. (Archila López & Solórzano Beltrán, 2008, p.51).

Acorde a la definición presentada por Archila y Solórzano, la empresa Skychillers nos presenta una definición similar y aporta algunas aplicaciones en la industria que no mencionan los primeros autores. La compañía especializada en la construcción de estos equipos, resalta que los chillers también son conocidos como unidad generadora de agua y en su mayoría sirven para enfriar esta. Como todo sistema de refrigeración estos están conformados por un compresor, evaporador, dispositivo de expansión, y un condensador. Las distintas aplicaciones de las que estos gozan en la industria se encuentra el enfriamiento en inyectoras de plástico, enfriamiento en procesos de pasteurización de alimentos y bebidas como la leche, enfriamiento en cortadoras laser, aire acondicionado para instituciones, etc. (Skylers, 2015).

Hay que resaltar que este tipo de sistema de enfriamiento suele ser utilizado para necesidades constantes de enfriamiento durante largos periodos del día, en el que la producción exige que se trabaje sin parar y no se tenga tiempo para almacenar el frío requerido. Es por tal, que este tipo de sistemas suelen tener un mayor consumo de energía eléctrica debido a que son operados simultáneamente con el proceso de enfriamiento, teniendo así que generar energía frigorífica en un menor tiempo requiriendo más potencia, debido a que posee un compresor de mayor tamaño acorde a los requerimientos (Apéndice 1).

2.2.4.5.1.1. Funcionamiento de un sistema Chiller

Por lo general los Chillers inician el proceso de enfriamiento del agua que se utilizará para distintas aplicaciones mediante la compresión de un refrigerante. Una bomba o compresor se encargan de comprimir el refrigerante, de tal forma que sale de estos a una temperatura de 80° para luego circular manteniendo la presión por un compensador y haciéndola descender hasta 40°. Luego del compensador, el refrigerante en estado gaseoso pasa por la válvula de expansión produciendo su enfriamiento para posteriormente circular dentro de los tubos del evaporador. En estos se genera la transferencia de calor, enfriando el agua hasta que alcance una temperatura entre un intervalo de 1 a 4 °C. (Archila López & Solórzano Beltrán, 2008, p.24).

2.2.4.5.1.2. Tipos de sistema Chiller

Dentro de los sistemas Chillers podemos encontrar 2 tipos: los de enfriado por agua y los de enfriado por aire.

- a) **Chiller enfriado por agua:** En su mayoría cuando se habla de sistemas de enfriamiento Chiller se refiere a los que enfrían el agua. El nombre por el que más se le conoce es “Water Chiller” y es el más usado en la industria debido a ciertas ventajas que ofrece. Estos sistemas poseen una mayor transferencia de calor, que los hace aún más eficientes que los Chillers enfriadores de aire y producen mucho menor ruido. La ventaja de estos radica en que el agua tiene un coeficiente de convección con una proporción de 10 a 100 mejor que el aire, además que condensan a una presión media menor que los Chillers de enfriamiento por aire. Todas estas ventajas se ven traducidas en un ahorro en los costos de operación (IASSE, 2016).
- b) **Chiller enfriado por aire:** Aunque los más conocidos son los wáter chillers, también

existen los que enfrían aire. Este tipo de sistemas tiene una menor aplicación que los primeros debido a ciertas desventajas que posee. Sin embargo, su principal uso se encuentra en los aires acondicionados de un tamaño pequeño ya que no requieren de tantos requerimientos ni mucho mantenimiento (IASSE, 2016).

2.2.4.5.2. Banco de hielo

Es un sistema el cual realiza el enfriamiento de agua mediante el proceso de acumulación de hielo en un tanque de almacenamiento. Es por tal que viene a ser un sistema utilizado en plantas donde la carga térmica es irregular y hay picos altos de consumo de energía eléctrica (Archila López & Solórzano Beltrán, 2008, p. 72).

Su aplicación industrial está básicamente en acumular frío antes de que el proceso requiera enfriamiento. De esta forma, mientras se va acumulando esta energía se va formando hielo en un sistema tubular. Esto permitirá que al momento de necesitar el enfriamiento se circule agua y se pueda combatir las altas temperaturas. (Quiminet, 2011)

En cuanto a la aplicación de estos sistemas, respecto a su almacenamiento de energía a distintas temperaturas, se suele distinguir distintos propósitos de forma general: la refrigeración, el enfriamiento, y aire acondicionado. Para estos últimos se acostumbra usar temperaturas superiores a los 0°C, para los sistemas de enfriamiento se usa por lo general temperaturas entre 0 a -18° C y para fines de refrigeración se suele bordear los -18 a -35°C (Grozdek, 2009, p. 10).

Tabla 12

Temperaturas de almacenaje de energías para distintos propósitos

Propósito	Temperatura
Aire Acondicionado	0°C
Enfriamiento	0 a – 18°C
Congelación	-18°C a -35°C

Fuente: Grozdek, M. (2009). Cambio de carga y Almacenamiento de energía de Refrigeración a través de bancos de hielo y Ice Slurry (tesis de Doctorado). Royal Institute of Tecnology, Estocolmo, Suecia.

Elaboración propia

2.2.4.5.2.1. Funcionamiento

Por lo general si damos un vistazo a los sistemas de enfriamiento más usados podemos mencionar a los sistemas Chiller de tubos y casco o de placas, los cuales son utilizados con fines de enfriar el agua a temperaturas arriba de los 5 °C (Archila López & Solórzano Beltrán, 2008, p. 72). Pero si es que se requieren mayores temperaturas una opción muy asequible es la de los bancos de hielo debido a que posee dos formas de operar (Quiminet, 2011). Estas son:

- Con un fluido refrigerante: El cual circula por el interior de tuberías uniformemente repartidas por las cuales circula un flujo de agua, ayudando a reducir la temperatura y congelar el agua formando hielo en las paredes exteriores de los tubos almacenando de esta forma la energía frigorífica. Así al hacer circular nuevamente agua por las tuberías se consigue un choque térmico liberando la energía frigorífica almacenada, lo que causa que se produzca el derretimiento del hielo a causa de la temperatura más alta del agua (Figura 9).
- Con un fluido refrigerante estático: Con este procedimiento se evita el derretimiento del hielo hasta que el agua comienza a circular por la tubería. La acumulación del

hielo en estos sistemas se puede dar también en un serpentín para tener la posibilidad de usar el frío provisto por el hielo para enfriar distintos fluidos.

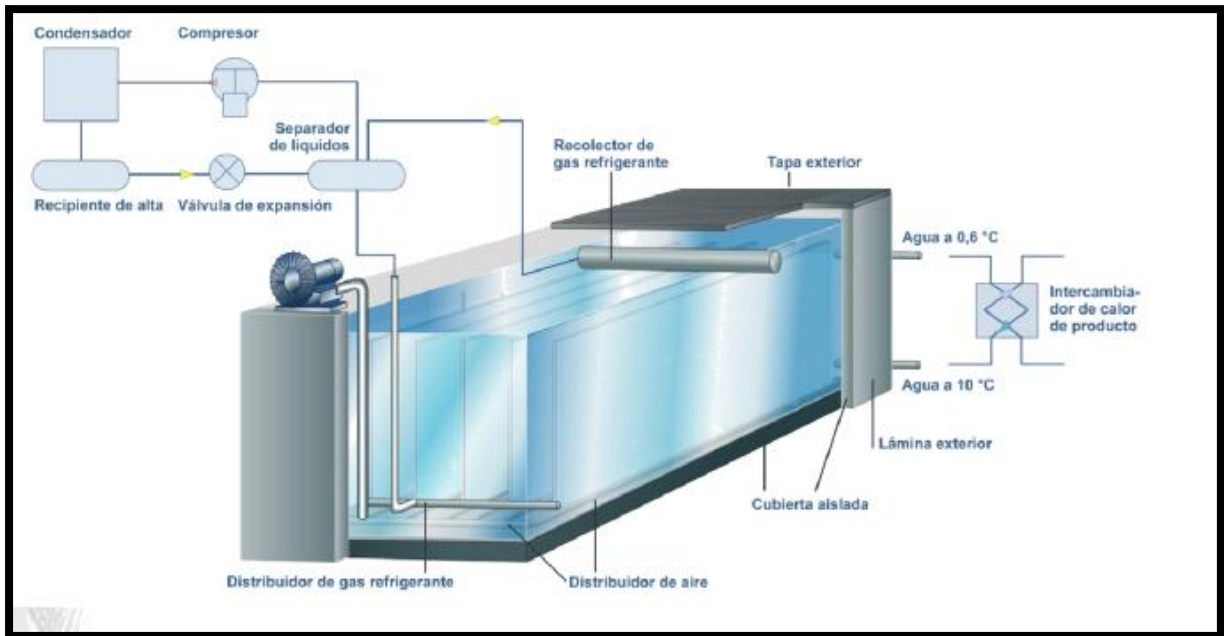


Figura 9: Esquema de partes y funcionamiento de un Banco de Hielo

Fuente: Buco Ice Bank. (2018). *Banco de hielo Industrial*. Obtenido de Zelsio Equipamiento Industrial:

<http://www.refrigeracionzelsio.es/maquinas-de-hielo/1657-buco-ice-bank.html>

2.2.4.5.3. Panzas Frías

Dentro de los distintos equipos y sistemas utilizados para el enfriamiento de la leche podemos encontrar a los de expansión directa o más conocidos como panzas frías, estos a su vez son los más utilizados en el enfriamiento de la leche (Porporatto & Felipe, 2011, p. 33). Tales sistemas están formados por un depósito de paredes dobles y en el fondo llevan soldado un evaporador, asimismo poseen un agitador que revuelve la leche para que se lleve la absorción del calor de forma homogénea en el tanque (Figura 10).



Figura 10: Tanque de expansión directa (panza fría)

Fuente: Heimlich, W., & Carrillo, B. (1995). *Manual para centros de acopio de leche. Producción, operación, aseguramiento de calidad y gestión*. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Universidad Austral de Chile. Egall-Master Print Ltda.

Para el proceso de refrigeración de la leche hay que tener en consideración la forma de agitación ya que si es muy rápida se puede ocasionar la ruptura de los glóbulos grasos de la leche, y si es muy lenta se puede causar el congelamiento de la superficie de expansión, siendo este una de las principales desventajas de este tipo de sistemas al momento de ocurrencias de fallas que afecten su desempeño provisto por su diseño (Hernández, 1975, p. 15).

Por lo general, las panzas frías tienen grandes capacidades volumétricas (entre 500 a 20,000 litros de leche) y otorgan la posibilidad de reducir la temperatura de grandes cantidades de leche a unos 4 °C en un periodo aproximado de 3 horas (Pinuer, L. (2008).

En el mercado existen distintos tipos según la capacidad de almacenamiento de leche, la capacidad de enfriamiento y el número de ordeños para el que está destinado el diseño del tanque. Si se trata de la forma del uso de las panzas frías acorde a la extracción de la leche y duración del almacenamiento, la mayoría de proveedores y cales suelen utilizar tanques

diseñados para almacenar dos ordeños por día, lo cual les permite el aseguramiento de un enfriamiento rápido; tomándose aproximadamente 3 horas por ordeño (Apéndice 1).

2.2.5. Fluidos Refrigerantes

Un refrigerante es cualquier fluido que actúa como agente de enfriamiento, absorbiendo el calor de un foco caliente al evaporarse (M.H. Castillo Juárez, 2010).

Al inicio de la historia de la refrigeración con las primeras máquinas mecánicas de producción de frío, se utilizaban refrigerantes de tipo primario; resaltando entre estos el amoníaco (NH_3), dióxido de carbono (CO_2) y el dióxido de azufre (SO_2). Sin embargo, debido a la aparición de nuevas opciones y a las exigencias ambientales del Protocolo de Montreal, tales quedaron en desuso en la actualidad con excepción del Amoníaco. Con el pasar de los años, estos fluidos fueron reemplazados con freones y con refrigerantes de tipo secundario con motivo de reducir las cargas y los impactos a la capa de ozono (M.H. Castillo Juárez, 2010; R. Aguiló, 2000).

2.2.5.1. Fluidos Refrigerantes Primarios

Son aquellos que se utilizan en sistemas de refrigeración clásicos. Que obedecen al ciclo frigorífico en un circuito normal. Entre estos podemos hallar al amoníaco y a los freones (R. Aguiló, 2000).

- Amoníaco: Conocido por ser uno de los refrigerantes que poseen el efecto frigorífico más alto en la aplicación industrial gracias a su estabilidad, con la ventaja de un bajo precio y facilidad de adquisición en el mercado. Sin embargo, es tóxico, inflamable y hasta explosivo si se encuentra en grandes concentraciones. (M.H. Castillo Juárez, 2010). Con la aparición de los sistemas de refrigeración secundaria, se ha podido llevar el uso de este refrigerante a instalaciones donde antes era imposible usarlo (R.

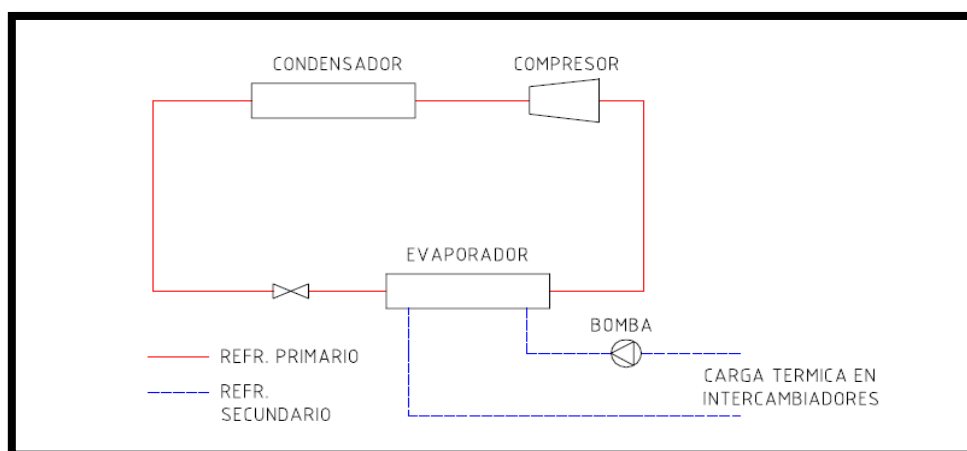
Aguiló, 2000).

- Freones: Compendio de fluidos refrigerantes derivados de hidrocarburos de bajo peso molecular, en especial del metano y etano de los cuales se han sustituido unos cuantos o la mayoría de sus átomos de hidrógeno por halógenos. De tal forma, en función de su composición de estos al contar con un tipo de halógeno de flúor, cloro u bromo; se han clasificado en 3 grupos: CFC o clorofluorocarbonos, HCFC o hidroclorofluorocarbonados, y hidrofluorocarbonados (M.H. Castillo Juárez, 2010).

2.2.5.2. Fluidos Refrigerantes Secundarios

Un refrigerante secundario es aquel fluido que se enfría en el evaporador de instalaciones que realizan el ciclo de refrigeración de manera habitual con un refrigerante de tipo primario, cediendo su carga térmica para poder ser utilizado posteriormente en procesos que requieran bajas temperaturas. Este tipo de sistemas requieren de la utilización de una bomba para transportar el fluido secundario desde el evaporador hacia un tanque de almacenamiento o directamente llevarlo por las tuberías hacia intercambiadores (Figura 11), y de esta forma enfriar el producto que se requiera (R.R. Aguiló, 2000).

Figura 11: Esquema de funcionamiento básico de un sistema de refrigeración secundario



Fuente: Aguiló, R. R. (2000). Comparación de sistemas de refrigeración, ventajas, desventajas, impacto ambiental.

Para la generación de Ice Slurry, sus sistemas usualmente utilizan freones en el ciclo primario de refrigeración, proceso por el cual se va enfriar el fluido secundario en el evaporador. Por lo general, los fluidos secundarios que se utilizan son disoluciones anticongelantes que funcionan como depresores del punto de congelación; acentuando entre estos: los alcoholes como etanol y metanol, glicoles como el etilenglicol y el propilenglicol, y sales como el cloruro sódico o el cloruro cálcico. (M. Kauffeld, M. Kawaji & P.W. Egolf, 2005).

De acuerdo a experiencias previas cada uno de estos fluidos presenta ventajas e inconvenientes al momento de su uso basados en criterios de propiedades químicas como la toxicidad, inflamabilidad, corrosión; y fisicoquímicas como su calor específico, entalpía o el punto de congelamiento (Kauffeld et al., 2005).

2.3 Ice Slurry

Al revisar la literatura encontramos distintas definiciones sobre lo que es Ice Slurry o también conocido como hielo líquido. La mayoría de las definiciones se asemejan y concuerdan en que Ice Slurry o pasta de hielo es un fluido secundario cuya aplicación se da en aquellos sistemas de refrigeración de cambio de fase, que consta de pequeños cristales de hielo suspendidos en un líquido. Este posee la propiedad de cambiar del estado sólido al líquido cuando absorbe calor incrementando la capacidad de transporte de calor del fluido (Aguiló, 2000, p. 5).

La definición que aporta Aguiló es una de las más completas y que compila a la mayoría de definiciones existentes. Sin embargo, Kauffeld desarrolla el concepto de una forma más entendible al decir que es una mezcla homogénea de partículas de hielo diminutas con un líquido adicional, el cual puede tratarse solo de agua o también puede ser una solución binaria que consta de agua mezclada con un depresor del punto de congelación (Kauffeld . et al,

2005, p. 59).

De esta forma uniendo ambas definiciones podemos decir que Ice Slurry es un fluido secundario que consta de una solución homogénea de partículas de hielo diminutas mezcladas con un líquido adicional, el cual por lo general se usa en sistemas de refrigeración de cambio de fase.

2.3.1. Propiedades fisicoquímicas de Ice Slurry

Las propiedades de Ice Slurry varían de acuerdo al tipo de depresor de la temperatura utilizado en la preparación de la solución acuosa que será sometida a refrigeración hasta obtener cierta concentración de cristales de hielo. Tales propiedades no solo varían de acuerdo al tipo de depresor, sino también a la concentración de este en la solución, por tal es necesario centrarse en unos cuantos anticongelantes de la gran variedad que hay. Para casos de enfriamiento de la leche en la industria se han utilizado anticongelantes como la Salmuera y Propilenglicol si se desea reducir la temperatura al agua Sub-enfriada utilizada (Apéndice 1).

Por tal, para efectos de esta investigación centraremos la atención en las propiedades de Ice Slurry generado a partir de Salmuera y Propilenglicol.

2.3.1.1. Densidad

Cuando se habla de la cantidad de masa por unidad de volumen en fluidos binarios como lo es Ice Slurry, esta toma distintos valores y tendencias de acuerdo a la influencia de otras propiedades del fluido y acorde al tipo de anticongelante que se use para preparar la solución. En la figura 12 y 13 se muestran las curvas y valores aproximados para ice Slurry formado a partir de soluciones de Propilenglicol y salmuera respectivamente.

En la mayoría de suspensiones de hielo líquido, las curvas mostradas en las Figuras 12 y 13 revelan que existe un comportamiento de descenso de la densidad de la solución una vez que

supera el punto de congelamiento y se empiezan a formar los cristales de hielo.

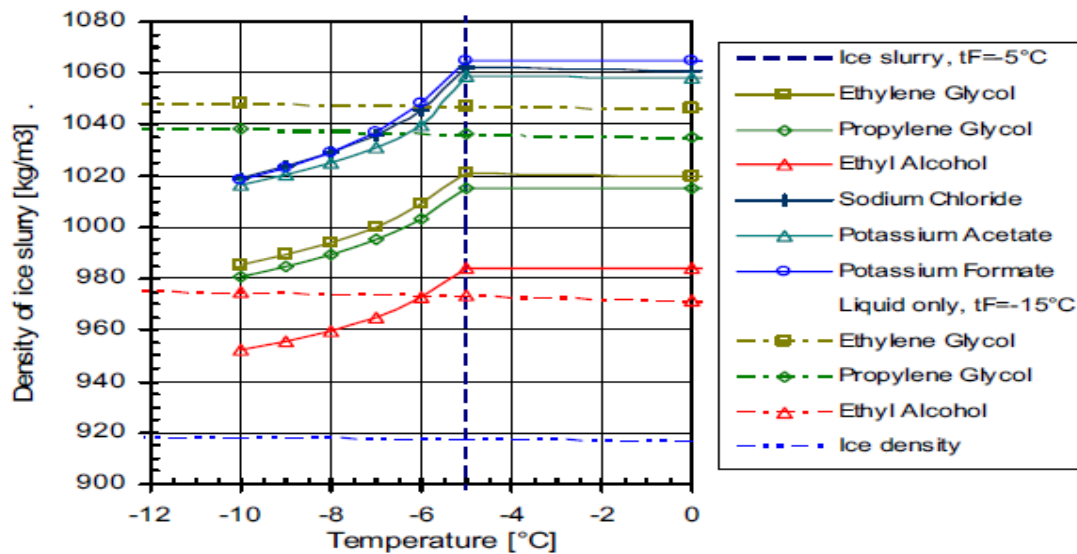


Figura 12: Densidad en función de temperatura para Ice Slurry y fluidos de fase simple de soluciones acuosas.

Fuente: Melinder, A. (2007) “*Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids*” (Tesis doctoral) Dept of Energy Technology School of Industrial Engineering and management Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden.

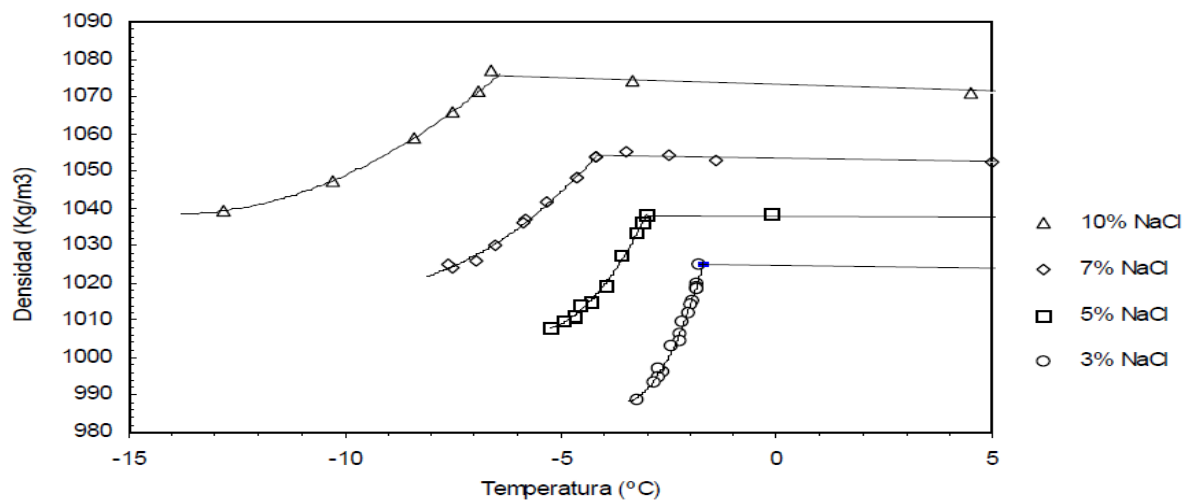


Figura 13: Variación de la densidad del hielo líquido con la temperatura para varias concentraciones de NaCl.

Fuente: Sánchez Recarte, I., Torres de María, G., Abril Requena, J., & Casp Vanaclocha, A. (2002).

Determinación de las propiedades de un hielo líquido formado a partir de agua y NaCl. Estudio Teórico-Experimental. In *Actas del II Congreso Español de Ingeniería de Alimentos CESIA*.

2.3.1.2. Viscosidad

Una característica a tener en cuenta debido a su importancia es la viscosidad, porque influencia significativamente en el tipo de flujo que ocurrirá en el intercambiador de calor. Una viscosidad elevada generalmente hace imposible mantener un flujo turbulento (para incrementar el intercambio térmico) con una potencia de bombeo razonable, esto debido a que es la resistencia entre las moléculas del fluido. A medida que la viscosidad se incrementa aumenta la caída de presión por rozamiento, requiriéndose una mayor potencia de bombeo (Aguiló, 2000).

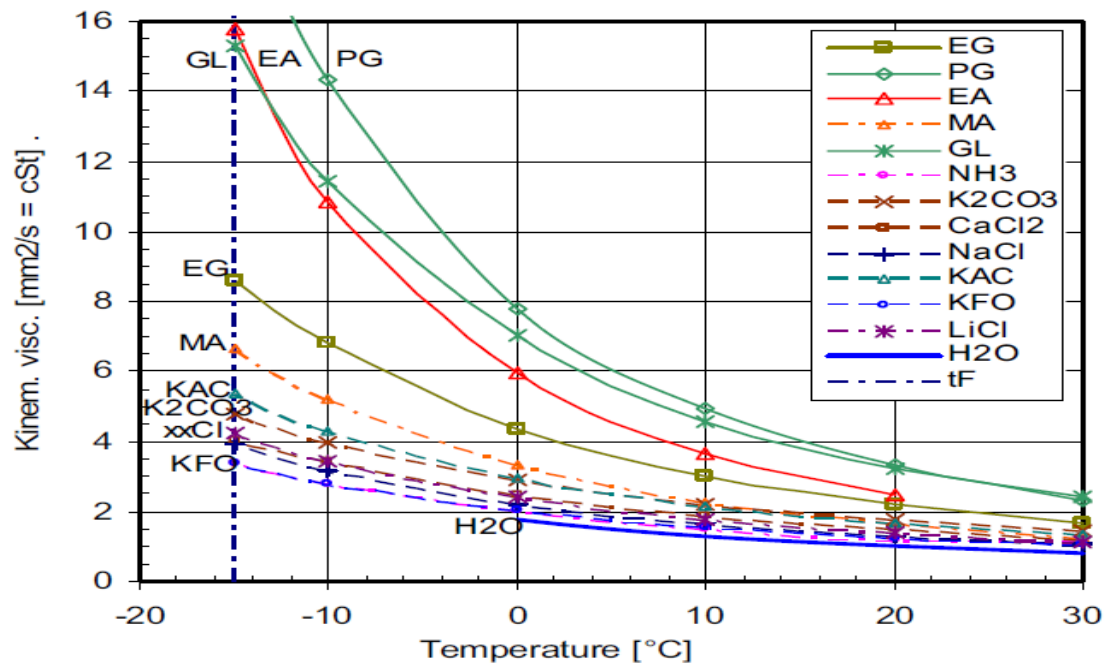


Figura 14: Variación de la viscosidad cinética respecto a la temperatura para distintos tipos de anticongelantes usados en la generación de Ice Slurry

.Fuente: Melinder, A. (2007) "Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids" (Tesis doctoral) Dept of Energy Technology School of Industrial Engineering and management Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden.

Igual que en el caso de las demás propiedades, toma distintos valores y tendencias de acuerdo

al tipo de anticongelante usado en la preparación del fluido secundario. En la Figura 14, se observa que se tiene una mayor viscosidad en el hielo líquido que se encuentra a menor temperatura o a mayor concentración de hielo. De igual forma en la Figura 14 se puede observar que el uso de glicoles, conlleva un trabajo con una mayor viscosidad que con Salmuera, ya que esta última apenas posee valores por encima de la viscosidad del agua.

2.3.1.3. Punto de Congelamiento

La composición de Ice Slurry, como se mencionó anteriormente, consiste en una proporción de agua con partículas de hielo y un porcentaje de una sustancia que baja el punto de congelamiento del agua, radicando en este aspecto una menor temperatura de congelamiento es una de las características favorables en su uso como fluido secundario en sistemas de enfriamiento (Meewisse & Infante, 2001).

Así mismo, conocer cuál es el punto de congelamiento ayuda a determinar el momento de la formación del Ice Slurry generado con cierta cantidad de anticongelante; haciéndose imprescindible el conocimiento de tal propiedad al momento de escoger el aditivo y la cantidad de este a usar en la solución. Melinder, A. (2007). La Figura 15, nos muestra diferentes puntos de congelamiento de distintas soluciones acuosas, que sirven como fluidos secundarios, y su relación con la concentración de aditivo que contengan estos fluidos. La grafica muestra la relación directamente proporcional entre la temperatura de congelamiento y la proporción del aditivo, teniendo temperaturas menores a mayores concentraciones de hielo.

Viendo como comparación se requieren mayores cantidades de aditivos como los glicoles que sustancias como la sal para alcanzar los puntos de congelación (Figura 15). Sin embargo, para

efectos del enfriamiento de la leche tales temperaturas del fluido secundario requeridas para el intercambio de calor con la leche no son muy bajas, por lo que tampoco se requiere mucha cantidad de tales aditivos (Apéndice 1).

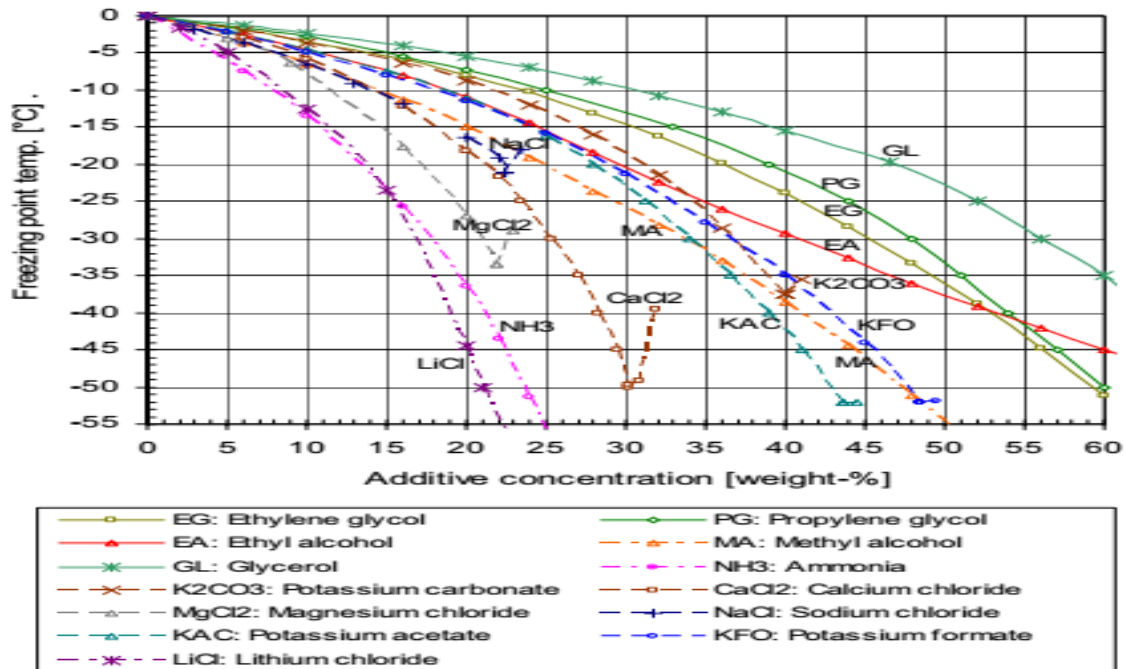


Figura 15: Temperatura de Puntos de congelamiento para distintas concentraciones de aditivo.

Fuente: Melinder, A. (2007) “*Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids*” (Tesis doctoral) Dept of Energy Technology School of Industrial Engineering and management Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden.

2.3.1.4. Calor Específico

El calor específico del agua es aproximadamente 1 a temperatura ambiente, pero tiene un comportamiento distinto cuando se trata de otras sustancias como son los glicoles o las salmueras; varía según la concentración de tales aditivos en la solución utilizada para generar el Ice Slurry así como también a la temperatura a la que se halle el fluido tal como se puede constatar en las Tablas 13 y 14.

Tabla 13

Calor Específico (kJ/kgK) de soluciones acuosas (Propilenglicol)

Temp. °C	Volume Percent Propylene Glycol									
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-35							3.096	2.843	2.572	2.264
-30						3.339	3.118	2.868	2.600	2.295
-25						3.358	3.140	2.893	2.627	2.326
-20					3.569	3.378	3.162	2.918	2.655	2.356
-15					3.586	3.397	3.184	2.943	2.683	2.387
-10				3.765	3.603	3.416	3.206	2.968	2.710	2.417
-5			3.918	3.779	3.619	3.435	3.228	2.993	2.738	2.448
0		4.042	3.929	3.793	3.636	3.455	3.250	3.018	2.766	2.478
5	4.229	4.050	3.940	3.807	3.652	3.474	3.272	3.042	2.793	2.509
10	4.195	4.058	3.951	3.820	3.669	3.493	3.295	3.067	2.821	2.539
15	4.168	4.067	3.962	3.834	3.685	3.513	3.317	3.092	2.849	2.570
20	4.147	4.075	3.973	3.848	3.702	3.532	3.339	3.117	2.876	2.600
25	4.132	4.083	3.983	3.862	3.718	3.551	3.361	3.142	2.904	2.631
30	4.121	4.091	3.994	3.875	3.735	3.570	3.383	3.167	2.931	2.661
35	4.115	4.099	4.005	3.889	3.751	3.590	3.405	3.192	2.959	2.692
40	4.114	4.107	4.016	3.903	3.768	3.609	3.427	3.217	2.987	2.723
45	4.115	4.115	4.027	3.917	3.784	3.628	3.449	3.242	3.014	2.753
50	4.120	4.123	4.038	3.930	3.801	3.648	3.471	3.266	3.042	2.784
55	4.128	4.131	4.049	3.944	3.817	3.667	3.493	3.291	3.070	2.814
60	4.138	4.139	4.060	3.958	3.834	3.686	3.515	3.316	3.097	2.845
65	4.150	4.147	4.071	3.972	3.850	3.706	3.537	3.341	3.125	2.875
70	4.164	4.155	4.082	3.985	3.867	3.725	3.559	3.366	3.153	2.906
75	4.179	4.163	4.093	3.999	3.883	3.744	3.581	3.391	3.180	2.936
80	4.196	4.171	4.104	4.013	3.900	3.763	3.603	3.416	3.208	2.967
85	4.213	4.179	4.115	4.027	3.916	3.783	3.625	3.441	3.236	2.997
90	4.231	4.187	4.126	4.040	3.933	3.802	3.647	3.465	3.263	3.028
95	4.249	4.195	4.136	4.054	3.949	3.821	3.670	3.490	3.291	3.058
100	4.267	4.203	4.147	4.068	3.966	3.841	3.692	3.515	3.319	3.089
105	4.285	4.211	4.158	4.082	3.982	3.860	3.714	3.540	3.346	3.119
110	4.303	4.219	4.169	4.095	3.999	3.879	3.736	3.565	3.374	3.150
115	4.321	4.227	4.180	4.109	4.015	3.898	3.758	3.590	3.402	3.181
120	4.338	4.235	4.191	4.123	4.032	3.918	3.780	3.615	3.429	3.211

Fuente: The Dow Chemical Company,(2003) "A Guide to Glycols"

Tabla 14

Calor Especifico (kJ/kg^oK) y propiedades de salmueras formadas a partir de NaCl

Peso especifi- co 4 °C	Grados Baumé a 15,6 °C (60 °F)	Grados sa- lométricos a 15,6 °C (60 °F)	kg de sal por m ³	% de sal (en peso)	Punto de congela- ción		Calor especifico kJ/kg °C
					°C	°F	
1.007	1	4	10.06	1	0	31.8	4.153
1.015	2	8	20.25	2	-1.7	29.3	4.119
1.023	3	12	30.66	3	-2	27.8	4.086
1.030	4	16	41.21	4	-3	26.6	4.052
1.037	5	20	51.86	5	-4	25.2	4.019
1.045	6	24	62.66	6	-4	23.9	3.960
1.053	7	28	73.92	7	-5	22.5	3.901
1.061	8	32	84.82	8	-6	21.2	3.847
1.068	9	36	96.08	9	-7	19.9	3.788
1.076	10	40	107.46	10	-7	18.7	3.734
1.091	12	48	138.03	12	-9	16.0	3.659
1.115	15	60	166.41	15	-11	12.2	3.579
1.155	20	80	230.99	20	-14	6.1	3.470
1.187	24	96	284.67	24	-17	1.2	3.328
1.196	25	100	298.11	25	-18	0.5	3.278
1.204	26	104	312.72	26	-17	1.1	3.227

Fuente: Hayes, G. D. (1992). Manual de datos para ingeniería de los alimentos. Acribia.

2.3.1.5. Concentración de hielo

No solamente el punto de congelamiento varía con el porcentaje de propilenglicol en la solución, sino también existe una relación entre la concentración de hielo del Ice Slurry y su temperatura. La Figura 16 y 17 nos muestra el comportamiento de la concentración de hielo a diferentes temperaturas, correspondientes a diferentes porcentajes en peso del Propilenglicol y NaCl en la solución (Melinder A., 2004)

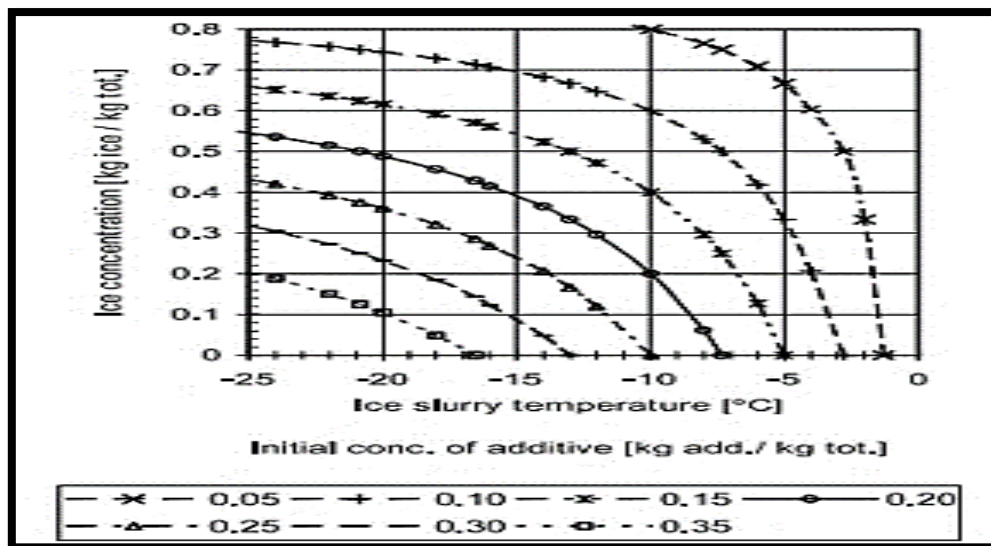


Figura 16: Concentración de hielo de Ice Slurry en función a la temperatura de la solución, con respecto a distintos porcentajes de Propilenglicol.

Fuente: Melinder, A. (2004). "Using property values of aqueous solutions and ice to estimate ice concentrations and enthalpies of ice slurries.". International Journal of Refrigeration

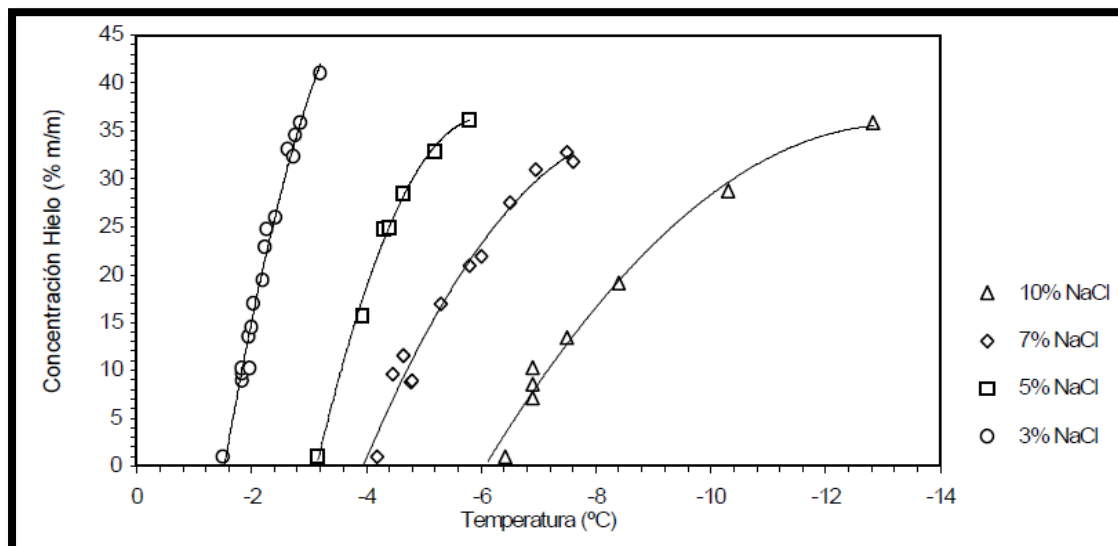


Figura 17: Concentración de hielo de Ice Slurry en función a la temperatura de la solución, con respecto a distintos porcentajes de NaCl.

Fuente: Sánchez Recarte, I., Torres de María, G., Abril Requena, J., & Casp Vanaclocha, A. (2002).

Determinación de las propiedades de un hielo líquido formado a partir de agua y NaCl. Estudio Teórico-Experimental. In *Actas del II Congreso Español de Ingeniería de Alimentos CESIA*.

2.3.1.6. Calor Latente de fusión

Entre las propiedades del Ice Slurry, al tratarse de un fluido binario es necesario considerar aquel calor requerido para lograrse el cambio de fase. Esta propiedad tiene una peculiaridad, al cambiar de valor respecto a la concentración del aditivo que se utiliza para preparar la solución de hielo líquido.

En la figura 18 y 19 se puede apreciar el descenso del calor latente a medida que se tiene mayores concentraciones de salmuera y propilenglicol respectivamente, siendo un punto a considerar al momento de determinar las concentraciones de trabajo en la generación de distintos tipos de ice Slurry.

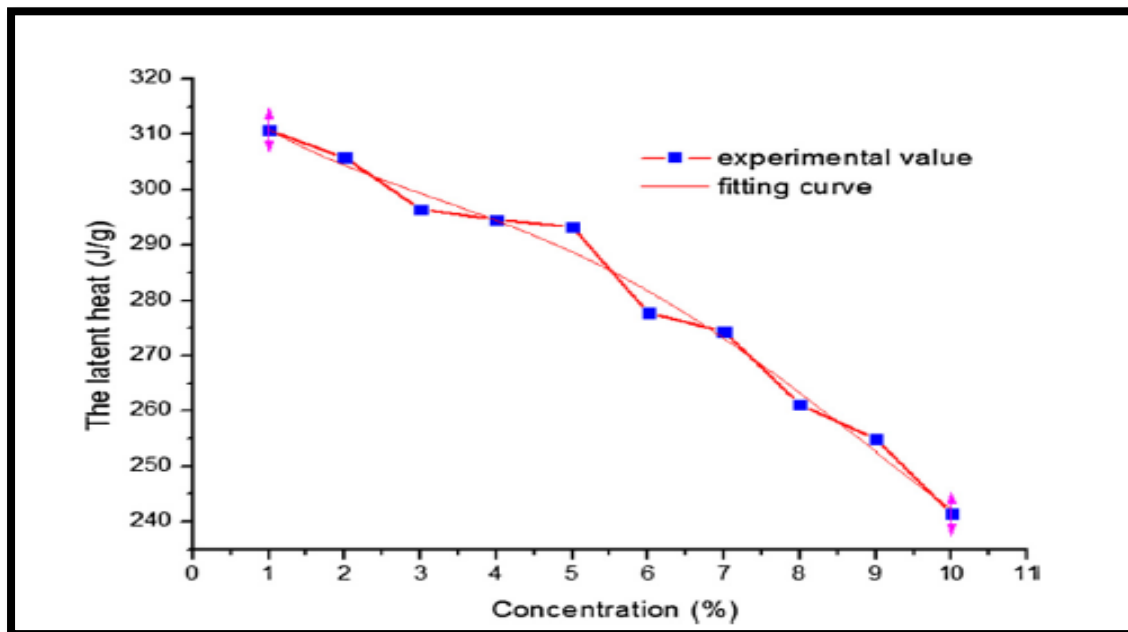


Figura 18: Relación entre el calor latente y la concentración de hielo en un Ice Slurry a base de NaCl.

Fuente: Liu, S., Hao, L., Rao, Z., & Zhang, X. (2017). Experimental study on crystallization process and prediction for the latent heat of ice slurry generation based sodium chloride solution. *Applied Energy*, 185, 1948-1953.

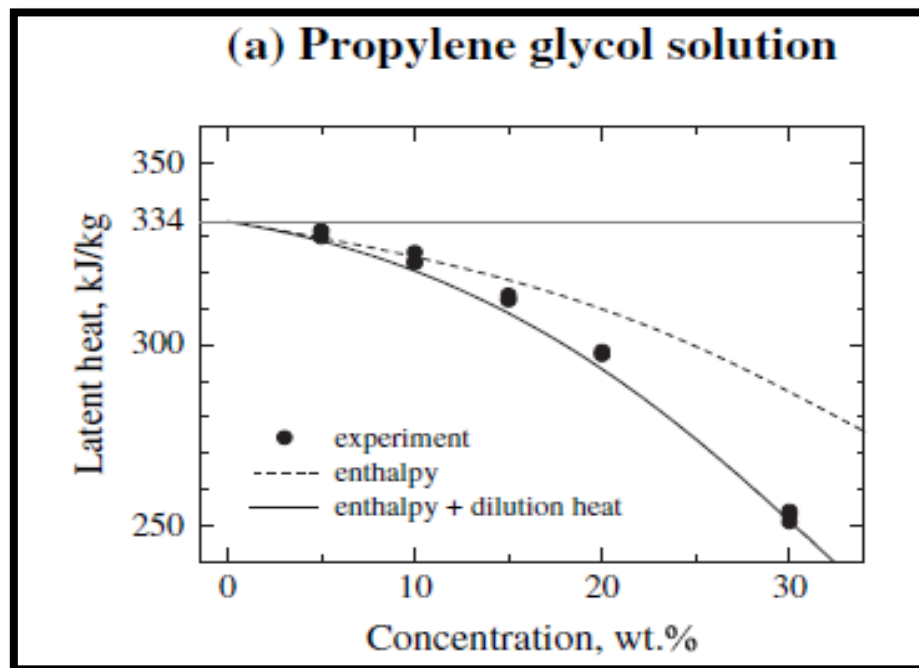


Figura 19: Relación entre el calor latente y la concentración de hielo de un Ice Slurry hecho en base a una Solución de Propilenglicol.

Fuente: Kumano, H., Asaoka, T., Saito, A., & Okawa, S. (2007). Study on latent heat of fusion of ice in aqueous solutions. *International journal of refrigeration*, 30(2), 267-273.

2.3.1.7. Conductividad Térmica

Es la medida de la capacidad de un material o sustancia para almacenar energía térmica (C.E.O. Alzate, 2003, p. 62). Para el caso de ice Slurry esta propiedad juega un papel importante si se busca su aplicación en la transferencia de calor. De la misma forma, en este fluido tal propiedad toma distintos valores de acuerdo a la influencia de otras propiedades del mismo, tal como se puede observar en las Figuras 20 y 21.

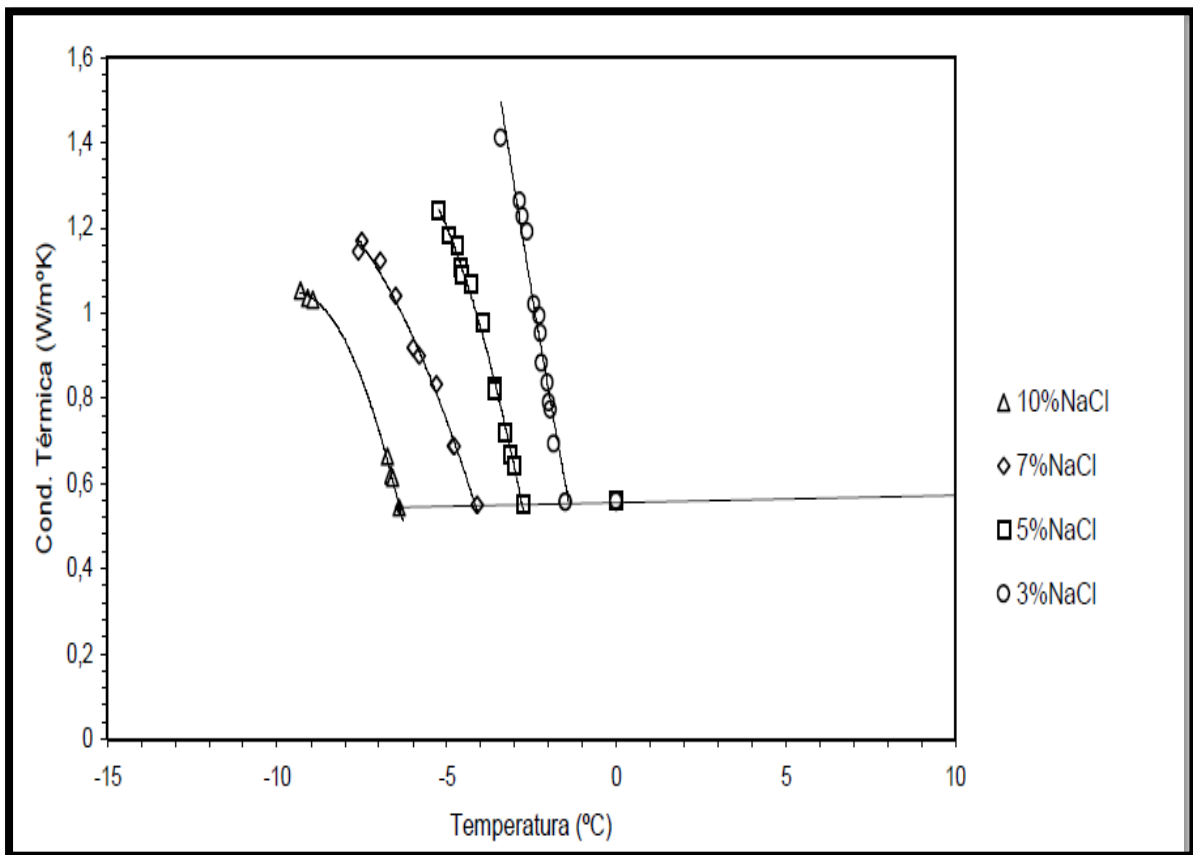


Figura 20: Variación de la conductividad térmica de ice Slurry con la temperatura para varias concentraciones iniciales de NaCl

Fuente: Sánchez Recarte, I., Torres de María, G., Abril Requena, J., & Casp Vanaclocha, A. (2002).

Determinación de las propiedades de un hielo líquido formado a partir de agua y NaCl. Estudio Teórico-Experimental. *In Actas del II Congreso Español de Ingeniería de Alimentos CESIA.*

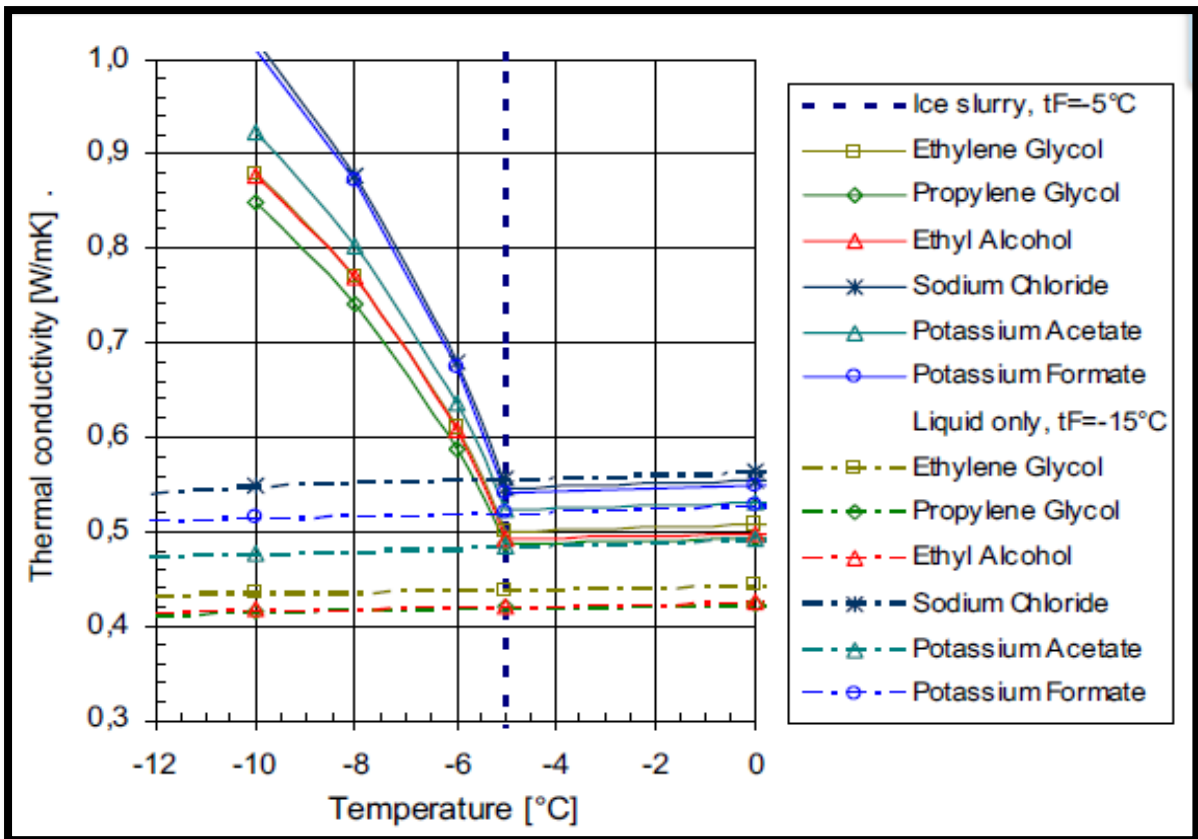


Figura 21: Variación de la conductividad térmica de ice Slurry con la temperatura para varias concentraciones iniciales de Propilenglicol.

Fuente: Melinder, A. (2007) "Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids" (Tesis doctoral) Dept of Energy Technology School of Industrial Engineering and management Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden.

2.3.2. Situación Actual del uso de los Sistemas de enfriamiento con Ice Slurry

La principal característica que hace del hielo líquido o Ice Slurry una propuesta tecnológica de alto interés es su alta capacidad de enfriamiento basado en el aprovechamiento del calor latente de cambio de fase, permitiendo por un lado reducir la carga de fluido secundario con las ventajas que ello conlleva; así como disminuir el tamaño de conductos y potencia de las bombas, incurriendo en menor inversión y costos. Por otro punto, debido a sus propiedades

conlleva el aumento de la potencia de enfriamiento para un mismo caudal de cualquier fluido monofásico que se encuentre a la misma temperatura, traduciéndose en mayor capacidad frigorífica o menor cantidad de fluido secundario a utilizar (F.I. Gómez, 2008, p. 26).

Los puntos encontrados en las ventajas otorgadas por la aplicación de ice Slurry son de interés al momento de considerar la aplicación de esta tecnología en el enfriamiento de la leche cruda, pues los modus operandi para el enfriamiento de los lácteos tienen similitud a aquellos desarrollados en ciertas investigaciones hechas buscando el reemplazo de fluidos monofásicos por Ice Slurry en la aplicación a procesos de enfriamiento. Por tal, a continuación, se irán desarrollando tales puntos de forma más detallada.

2.3.2.1. Transporte de hielo Líquido

El estado actual de las investigaciones sugiere que para el transporte de Ice Slurry, el diseño de las redes de distribución sigue el mismo diseño que el practicado para fluidos monofásicos tales como el agua. Sin embargo, es necesario una cierta velocidad para que no se produzca una separación de fases en las tuberías; inconveniente que al conseguirse el punto de trabajo apropiado se convertiría en una oportunidad de llegar a tener una gran capacidad de almacenamiento de frío unido con una facilidad de transporte de hielo a través de tuberías (F.I.Gómez, 2008, p. 40).

Es por tal que la concentración de hielo juega un papel importante, ya que en la práctica se ha observado que existe una restricción al momento de almacenar y transportar Ice Slurry en condiciones homogéneas, siendo 30% el máximo porcentaje de hielo para tales circunstancias (F.I.Gómez, 2008, p. 40).

En investigaciones hechas por E. Nørgaard, T.A. Sørensen, T.M. Hansen T.M & M.

Kauffeld (2005); así como Frei & Hubber (2005) se analizan el comportamiento del Ice Slurry al momento de este al ser impulsado por diferentes tipos de bombas para la circulación del hielo líquido. En Frei y Huber se estudió experimentalmente la conducta de tres tipos de bombas comerciales, bombas centrífugas de doble y simple etapa, de canal lateral y de tornillo. Los tres tipos de bombas funcionaron durante grandes periodos sin problemas. Las bombas centrífugas trabajaron adecuadamente al hacerse funcionar con concentraciones de hielo de hasta un 25%, resultando una alternativa de interés si se quiere trabajar con tales concentraciones debido a su menor coste en el mercado. Para concentraciones de hielo superiores al límite de trabajo de las bombas centrífugas, el estudio observó que era recomendable un cambio de bomba, ya sea por las de tipo canal lateral y tornillo. Además, las investigaciones reflejaron, que si la concentración de hielo en la suspensión de hielo líquido superaba el 30%, era recomendable trabajar con bombas de lóbulos o bombas de cavidades progresivas (Véase Tabla 15).

Tabla 15

Tipos de bombas para Ice Slurry con distintas Concentraciones de hielo

Bomba	Concentración de hielo para buen funcionamiento
Centrífuga	< 25 %
Canal Lateral	>25%
Tornillo	> 25%
De Lóbulos	> 30 %

Fuente: Frei B., Huber H. (2005) *Characteristics of different pump types operating with ice slurry*. International Journal of Refrigeration 28 pp. 92-97.

2.3.2.2. Almacenamiento y agitación de Ice Slurry

Tomando como referencia el funcionamiento de los sistemas de banco de hielo en la actualidad para el enfriamiento de lácteos y otros fluidos, se puede notar que Ice Slurry

también puede utilizarse de la misma forma como se usan tales sistemas de acumulación energética. Y es que debido a su versatilidad, un sistema Ice Slurry Banks resultaría ser un sistema de acumulación de frío que dotaría una reducción en el tamaño y capacidad de los equipos a requerirse, significando un ahorro en el costo que comprometen. A su vez, dotaría la posibilidad de poder independizar la demanda de frío para el proceso de enfriamiento de la leche con la producción del fluido secundario utilizado para tal fin; teniendo un impacto a un menor coste de energía para la generación del Ice Slurry ya que las tarifas eléctricas y la diferencia de estas para la zona generarían el diseño de una instalación con un ahorro notable al evitar las tarifas de hora punta. (R. D. Montero, J.F. Seara & M. Térmicos, 2016).

En lo que concierne al almacenamiento de Ice Slurry las investigaciones realizadas por F. Meili, O. Sari, D. Vuarnoz, & P.W. Egolf (2001) revelan un aporte importante, y es que a elevadas concentraciones de hielo es improbable conseguir una situación homogénea en el depósito, teniendo así una restricción al momento de querer trabajar con una suspensión de hielo líquido que tenga distribuido de forma homogénea el hielo.

Así también, para el desarrollo de un sistema Ice Slurry Bank resulta atractivo considerar que se puede prescindir de la agitación durante un tiempo de almacenamiento para luego ser homogenizado y ser transportado por tuberías. Meili F. et al (2001) observaron que luego de un tiempo de parada de agitación de 15 horas, basta con agitar nuevamente el líquido por 5 minutos para que este se homogenice en el Tanque y pueda hacerse fluir.

2.3.2.3. Aplicación de Ice Slurry en intercambiadores de calor

En la industria láctea los intercambiadores de calor de tipo placas tiene un gran uso, al momento de considerar un trabajo con Ice Slurry se hace necesario ver cuáles son los

parámetros de trabajo con este tipo de equipos. En un inicio, debido al reducido tamaño de los canales para la circulación de los fluidos, el empleo de intercambiadores de placas con hielo líquido se planteó como un reto.

Sin embargo, diferentes trabajos han demostrado que pueden ser utilizados exitosamente (J. Bellas, I. Chaer, & S.A. Tassou, 2002; Nørgaard et al., 2005) incluso con concentraciones de hielo que pueden alcanzar el 60% (Shire et al. (2009) [75].

Otra característica importante que se pone de manifiesto en este trabajo (Kauffeld et al. (2005)) es el hecho de que para bajos valores del número de Reynolds y elevadas concentraciones de hielo el comportamiento se vuelve inestable debido a la obturación total o parcial de los canales del intercambiador. Estos problemas causados por la aglomeración o excesivo crecimiento de los cristales de hielo, siendo también observado tal comportamiento por Shire et al. (2009)

3. Hipótesis o proposiciones de la investigación

3.1. Hipótesis principal

La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica impacta positivamente en la efectividad del proceso de enfriamiento de la leche en cuanto a costos y productividad, asegurando la calidad del producto.

3.2. Hipótesis secundarias

- a. La aplicación de un sistema Ice Slurry Banks como propuesta tecnológica permite enfriar la leche cruda a una temperatura inferior a 5°C, la cual es el parámetro

máximo del rango térmico adecuado para la refrigeración de la leche cruda (3 a 5 °C).

- b. La aplicación de un sistema Ice Slurry Banks como propuesta tecnológica permite reducir el rango de tiempo que toma el proceso de enfriamiento de leche cruda, en comparación a la tecnología más usada en el sector.
- c. La aplicación de un sistema Ice Slurry Banks como propuesta tecnológica impacta positivamente asegurando la calidad microbiológica de la leche cruda, al mantener el producto en una clasificación de "Buena" según la Norma ISO 8553.
- d. La aplicación de un sistema Ice Slurry Banks como propuesta tecnológica permite reducir los costos en cuanto a consumo energético e insumos.
- e. La aplicación de un sistema Ice Slurry Banks como propuesta tecnológica permite mejorar la productividad parcial del proceso de enfriamiento de leche.

CAPÍTULO III. ASPECTOS METODOLÓGICOS

En el presente capítulo se busca desarrollar de forma detalladamente la metodología utilizada acorde a la presente investigación, partiendo del tipo de estudio a realizar; así como la forma en que se levantarán y analizarán los datos relevantes para cumplir con los objetivos planteados en el Capítulo I.

1. Modelo Conceptual

En esta investigación se recurre al uso de un modelo de matriz de consistencia la cual se encuentra en el Apéndice 2.

2. Descripción del Objeto de Estudio

El objeto de estudio es la obtención de la optimización en el proceso de enfriamiento y cadena de frío de la leche cruda, tomando como alternativa en la industria láctea la aplicación de Ice Slurry en un sistema de enfriamiento con intercambiadores de calor para proveedores y cales.

3. Descripción del Tipo de Investigación

3.1. Diseño de la Investigación

La presente investigación responde a un diseño de tipo mixto; se usará en una fase del estudio un diseño experimental, que a través del análisis estadístico ayudará a comprobar si la Hipótesis planteada es aceptada o no. Debido a la naturaleza del diseño, se realizarán pruebas a un grupo de control, con el fin de obtener resultados que permitan un posterior análisis de carácter cuantitativo y cualitativo.

Asimismo, se recurrirá a un diseño no experimental para la fase del estudio que conste en el levantamiento de información, evaluación de resultados de la tecnología propuesta y su posterior comparación con los sistemas actuales.

3.2. Tipo de Investigación

Para el diseño experimental, el tipo de investigación a desarrollar es la de un diseño cuasi-experimental. La razón por la cual se escoge este diseño, es debido a los efectos en la calidad que puede traer una alta manipulación de la leche. Por tal, aunque otro tipo de diseños sean mucho más completos, no es aconsejable optar por el diseño experimental propiamente dicho (pre-test y post-test con grupo de control) ni con el diseño Solomon, ya que involucran una mayor manipulación de la leche, y lo que se busca es el desarrollo de las experiencias con el menor manejo del producto. De tal forma, para la investigación, un diseño de tipo cuasi - experimental plantea trabajar con un solo grupo de control, del cual se obtendrán resultados que servirán para contrastar en base a históricos y la literatura existente.

Respecto al diseño no experimental se plantea una investigación de tipo comparativa, la cual permitirá demostrar la influencia de la aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para el enfriamiento de leche cruda con intercambiadores de calor, en la efectividad de dicho proceso para los proveedores y productores de la industria láctea.

3.3. Métodos de Investigación

El método de investigación escogido (basados en el tipo de información) es de tipo mixto.

Se hará uso de un método cuantitativo, ya que para realizar los experimentos y que estos nos ayuden a demostrar la hipótesis planteada con éxito, se usarán técnicas escogidas con motivo de reducir la variabilidad de los factores intervinientes y hacer que la investigación goce de estructura, permitiendo realizar la medición adecuada de las variables previamente establecidas.

A su vez se recurrirá al método cualitativo para el levantamiento de información y contraste de los resultados obtenidos haciendo uso de la literatura, así como de entrevistas en

profundidad a expertos y análisis de parámetros establecidos de evaluación. Para esto, el método escogido de acuerdo al tipo de reflexión será de tipo comparativo, ya que se buscará profundizar en la evaluación de la aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica en el enfriamiento de leche a través intercambiadores de calor, frente a las prácticas y sistemas utilizados en el sector como: el enfriamiento por panzas frías o bancos de hielo.

4. Levantamiento de datos

4.1. Técnicas de Investigación

Para la metodología planteada se realizarán las siguientes técnicas:

- Experimentación: Mediante técnicas que gocen de estructura y permitan realizar la medición adecuada de las variables previamente establecidas.
- Entrevista en profundidad: Permitirá recolectar información proveniente de expertos en el área sobre las variables e indicadores que ayuden a realizar la investigación.
- Fichas de Investigación: Facilitará la recolección de la información pertinente que se haya realizado en anteriores investigaciones.

4.2. Instrumentos de Investigación

Los instrumentos usados de acuerdo a las técnicas de investigación a seguir, son los siguientes:

- Para la técnica de entrevista personal se realizará mediante una guía de pautas que permita que se efectúe de forma más fluida y tratando de cubrir los temas de interés más importantes.
- Para las fichas de investigación se contará con Formatos de Fichas de Investigación que permitan registrar de forma más fácil y versátil la información relevante.

- Para la técnica experimental se utilizará un sistema de experimentación. Además de fichas de observación y formatos elaborados para el registro de los experimentos, etc. (Véase Apéndice 3).

Sistema de Experimentación

Al plantearse en la presente tesis un estudio experimental, se ha llevado a cabo la instalación de un sistema piloto de enfriamiento con intercambiadores de calor para la aplicación práctica de los diseños experimentales propuestos, con el propósito de lograr la obtención de los parámetros o condiciones de operación de la alternativa sugerida en la optimización del enfriamiento de leche.

Se partió con un prototipo basado en maquinaria y equipos disponibles, diseños previos, la praxis y conocimientos técnicos de los expertos en el enfriamiento de leche, para llevar a cabo pruebas preliminares con base en ensayo-error, que demuestren la aplicación de la teoría y validez de los cálculos termodinámicos (Apéndice 4).

A partir de esto, se adapta el prototipo al sistema piloto propuesto (véase gráfico y fotos en Apéndice 5) y a su vez abrir paso al diseño de experimentos. La selección de equipos intervinientes en el intercambio de calor, como es el caso de las bombas, se dio en base a un caso específico de requerimiento de producción de los proveedores lecheros de la zona (Apéndice 1) y la capacidad del equipo de frío. Para el caso de la selección del intercambiador de calor se basó en el criterio anterior y a un cálculo para la determinación del área requerida (Apéndice 4), considerando las propiedades y el comportamiento ideal del Ice Slurry en este equipo. De esta forma, el aparato

experimental consta de los siguientes equipos y componentes más representativos como son:

- Máquina Generadora de Ice Slurry: Marca Snowell modelo SSL-2T.



Figura 22: Máquina Generadora de Ice Slurry Snowell SSL-2T

- Bombas centrífugas: El sistema cuenta con 3 bombas (Flujo, Voltaje, herzt)

Tabla 16

Caudales y Potencia de las Bombas del sistema experimental

Uso de la bomba	Caudal (litros/hora)	Potencia (KW)
Generación de Ice Slurry	5,000	0.85
Leche	3,000	0.75
Ice Slurry	7,000	1

Fuente: Elaboración propia

- Intercambiadores de calor tipo PHE: Se utilizaron 2 intercambiadores de placas del tipo PHE. Uno para el pre enfriamiento, y otro propio para el enfriamiento, cuyas características se muestran en la tabla 17.

Tabla 17

Características del intercambiador de calor - Enfriamiento de Leche

Tipo Intercambiador PHE de placas	Valores	Unidades de Medida
Área de transferencia	4.8	m ²
Número de placas	28	unidad
Ángulo Chevron	30	°
Distancia entre las placas o Profundidad (b)	0.0024	m
Ancho de la placa	0.4	m
Conductividad del Material-AISI 316 – 0.5mm	16.3	Watt/(m°K)
Espesor de la placa	0.0005	m

- Tanques de almacenamiento de Ice Slurry: La instalación experimental contó con 2 tanques adaptados para el almacenamiento de Ice Slurry requerido para llevar a cabo las experiencias (Véase Figura 23). Las dimensiones y capacidad se presentan a continuación en la Tabla 18.

Tabla 18

Características de los Tanques de Almacenamiento de Ice Slurry

Dimensión	Valor	Unidad
Diámetro Interno	0.97	m
Radio interno	0.485	m
Altura	1.27	m
Volumen	0.9385	m ³
Volumen	938.5	litros

Elaboración propia



Figura 23: Tanques para almacenamiento de Ice Slurry

- Termómetros eléctricos



Figura 24: Termómetros para toma de temperaturas de los fluidos

- Flujómetros



Figura 25: Flujómetros del sistema propuesto

- Variador de potencia



Figura 26: Variador de Potencia para las bombas

- Agitadores: Dos agitadores de 2 alabes con potencia de 0.5 HP usados respetivamente para cada tanque.
- Tinajas de recepción y almacenamiento de leche: Se trabajó con dos tinajas. Una tina usada para la acogida de la leche antes de hacerla fluir por los intercambiadores de calor, y otra para recepción de la leche fría, producto de la refrigeración al aplicar Ice Slurry como fluido secundario; contando con las medidas mostradas en la Tabla 19.

Tabla 19

Dimensiones de las tinajas del sistema propuesto para los experimentos

Dimensión	Valor	Unidad
Largo	1.87	m
Ancho	1.22	m
Altura	0.28	m
Volumen	0.6388	m ³
Volumen	638.8	litros

Elaboración propia

5. Recolección de datos

- a) Fuentes Primarias: Como fuentes primarias, con respecto al diseño del sistema, tenemos la información recolectada mediante entrevista a expertos. Estas se llevaron a cabo mediante visitas a planta teniendo previamente elaborados formatos de guías de pautas (Véase Apéndice 6) con las preguntas relacionadas a los temas a consultar, de los cuales se obtuvo la información requerida (Véase Apéndice 1).

A su vez, se cuenta como fuente primaria la información registrada a través de los experimentos preliminares, y los experimentos desarrollados a través de la

herramienta de diseño experimental “Arreglos Ortogonales”.

Para las pruebas preliminares se hará uso del método científico con el fin de corroborar la teoría y abrir paso mediante sus resultados a los diseños experimentales propuestos para el desarrollo de la investigación. De tal forma, los experimentos preliminares que se hicieron fueron para obtener resultados previos para los siguientes temas:

- Temperatura de Congelamiento de los aditivos a diferentes concentraciones
- Porcentaje de hielo a distinta temperatura
- Fluidez en el circuito de bombeo con previa agitación
- Relación de caudal de los líquidos intercambiados
- Porcentaje de hielo - tiempo de generación

A continuación, se presenta el diseño experimental, usando esta herramienta para la recolección de datos, el cual busca determinar la mejor combinación de factores en el enfriamiento de leche cruda de 38°C a 4°C. De acuerdo a la metodología, se identifican los principales factores que intervienen notablemente en diseño del sistema, los cuales son:

- Área Total de Transferencia de Calor
- Porcentaje de aditivo
- Porcentaje de hielo
- Proporción o Relación de flujo entre producto y fluido frío
- Agitación en el tanque

Dichos factores se evalúan en ciertos niveles planteados con base en las pruebas

preliminares, fuentes bibliográficas y entrevistas a expertos. Tales niveles al ser producto de las fuentes anteriores se tomarán como resultado del análisis de estas. Por ende, se desarrollaran de forma detallada en el Capítulo IV “Análisis de Resultados”.

La herramienta de Arreglos Ortogonales al permitir al ingeniero evaluar qué tan robustos son los diseños del proceso con respecto a los factores de ruido, plantea distintos tipos de arreglo de acuerdo a la cantidad de factores. De esta forma, en nuestro caso, al querer analizarse el efecto de 5 factores a dos niveles cada uno; se utilizará de acuerdo a la metodología planteada por Taguchi un arreglo Ortogonal de tipo $L8(2)^5$ (véase Anexo 5 y Tabla 20).

Tabla 20

Arreglo ortogonal para experimentos tipo L8 a dos niveles con cinco factores

N ° Arreglo	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2
3	1	2	2	1	1
4	1	2	2	2	2
5	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1
7	2	2	1	1	2
8	2	2	1	2	1

Fuente: Soto Fernández, G. (1996). El método Taguchi en diseños experimentales.

A partir de la Tabla 20 del arreglo L8, se elaboró la Tabla 21 adecuada para la investigación considerando los factores intervinientes. En base al diseño experimental se elaboró un formato especialmente adecuado (Apéndice 3) para facilitar la recolección de los datos experimentales.

Tabla 21

Arreglo ortogonal tipo L8 con los factores intervinientes en la investigación

Agitación	Porcentaje de aditivo	Porcentaje de hielo	Proporción de flujo entre leche y fluido frío	Área Total de Transferencia de calor
1	1	1	1	1
1	1	1	2	2
1	2	2	1	1
1	2	2	2	2
2	1	2	1	2
2	1	2	2	1
2	2	1	1	2
2	2	1	2	1

Elaboración propia

A su vez para la obtención de los datos que serán utilizados para medir la calidad higiénica, se realizará la recolección de muestras provenientes de la leche enfriada con la mejor combinación de factores para pasarla por laboratorio y sean analizadas.

- b) **Fuentes Secundarias:** Para la recolección de fuentes secundarias se considerará la recolección de data proveniente de: artículos, publicaciones, manuales, revistas científicas, catálogos; haciendo uso de formatos fichas de contenido bibliográfico elaboradas para facilitar el manejo de la información.

6. Análisis de datos

Los datos recogidos se analizarán haciendo uso de metodologías propias de estadística como análisis de media y desviación estándar para los datos provenientes de los experimentos realizados en el enfriamiento de la leche. Así también se utilizarán herramientas de ingeniería de la calidad para evaluar el diseño de experimentos con Arreglos Ortogonales usando el Diseño de Taguchi con el software estadístico Minitab, analizando de esta forma la variabilidad.

Además, se evaluarán los resultados de los arreglos a través de gráficas de control, para analizarlos de acuerdo a los límites de control propuestos. Por último, para complementar el análisis cuantitativo se recurrió a un análisis cualitativo de las combinaciones a través de una matriz de enfrentamiento y criterio de selección adaptada al diseño; esto debido a que existen criterios relacionados a productividad y costos que no deben obviarse al momento de realizar el análisis. (Véase Tabla 22)

Tabla 22

Criterios para el análisis y selección cualitativa

Ítem	Criterios
1	Temperatura Objetivo de enfriamiento: la aceptable para conservar la leche
2	Mínima Cantidad de Fluido Secundario
3	Mínima Pérdida de T° de fluido Secundario
4	Mínima Cantidad de Aditivo
5	Mínimo Costo por Aditivo

Elaboración propia

Luego de todos estos análisis se permitirá determinar la combinación de factores del diseño Ortogonal más adecuado. De tal forma, ya sabiendo los parámetros óptimos de diseño, se replicarán las pruebas para tales; con el fin de desarrollar un análisis de calidad higiénica (cuyo indicador será los ufc/cm³). Con respecto al control del desarrollo microbiológico en la leche, se evaluará el producto en base a las especificaciones de calidad higiénica para determinar la calificación de la leche enfriada con el diseño propuesto en base a la Clasificación usada en el sector (Tabla 23) la cual es similar a la propuesta en la ISO 8553.

Tabla 23

Clasificación según UFC/mL de Leche Cruda

Calidad de la Leche	UFC/mL
A++	0 a 50,000
A+	50,000 a 150,000
A	150,000 a 300,000
B	300,000 a 500,000
C	500,000 a 1,500,000
D	1,500,000 a 5,000,000
E	más de 5,000,000

Fuente: Apéndice 1 “Entrevista a Expertos”

Elaboración propia

Posteriormente, se hará un análisis de costos en base a insumos y a consumo energético para comparar la aplicación del sistema Ice Slurry propuesto con las principales tecnologías del sector. Seguido de una evaluación de productividad a través de indicadores tales como:

- Volumen de leche enfriada/ Costos Energéticos.
- Volumen de leche/ energía.
- Producción total /cantidad de insumos.
- Beneficio percibido/costo de insumos.
- Volumen de leche enfriada/ tiempo.
- Beneficio percibido/costo de insumos.
- Razón de flujos intercambiados.

6. Resumen de la Operacionalización de la Investigación

Para llevar de forma organizada una revisión detallada de la sistematización del problema e hipótesis, y como estas serán abordadas con las técnicas de investigación y métodos de análisis en la “Aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para la optimización del proceso de enfriamiento de leche en proveedores y cales” es que se ha desarrollado un cuadro resumen de la operacionalización de la investigación (Apéndice 7).

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo, el objetivo es desarrollar un análisis de la información obtenida a través de las experiencias preliminares, del diseño experimental y de entrevista a expertos; buscando la influencia de la aplicación de un sistema Ice Slurry Bank sobre distintos indicadores relacionados a calidad, costos y productividad.

1. Pruebas Preliminares

Las experiencias realizadas en las pruebas preliminares se presentan de la siguiente forma haciendo uso del método científico, en donde se evaluó:

- **Temperatura de Congelamiento de los aditivos a diferentes concentraciones.**
 - **Observación:** A cierta concentración de aditivo del fluido secundario que se quiere enfriar se tiene un punto de congelamiento específico.
 - **Hipótesis:** La temperatura de congelamiento del fluido enfriado a cierta concentración de aditivo con el equipo generador de Ice Slurry, debería ser similar a la indicada en la Figura 15.
 - **Experimentación:** Se realizó 10 experiencias por cada tipo de concentración elegida de acuerdo ciertos criterios previos como la entrevistas a expertos y consulta en fuentes bibliográficas, en la cual se determinó que lo que se debe buscar no es una menor temperatura del fluido de enfriamiento sino una concentración adecuada de hielo, ya que de esta forma se ahorre en el costo de insumos requeridos. Además, se consideró que para usos de refrigeración de leche en la práctica no se utilizaba fluidos de enfriamiento a temperaturas muy bajas, teniendo estos como máximo una temperatura de -5°C ; esto debido a que llevar el fluido a una menor temperatura implica mayores costos, energía y tiempo. A su vez el manual del equipo utilizado,

recomienda una concentración mínima de 2% y una máxima de 7% de sal para una óptima operación sin fallas, lo que equivale a trabajar con temperaturas de congelación en un rango de $[-1.7^{\circ}\text{C}; -5^{\circ}\text{C}]$. (Anexo 3).

Es de acuerdo que a todo lo anterior se propuso realizar las experiencias con concentraciones de 3% y 5% de NaCl, 10% y 15% de Propilenglicol; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 24

Temperatura de Congelamiento al 3% Concentración de NaCl

Concentración de NaCl	Temperatura de congelamiento ($^{\circ}\text{C}$)
3%	-2
3%	-1.9
3%	-1.9
3%	-1.8
3%	-2
3%	1.9
3%	-1.8
3%	-1.9
3%	-2
3%	-2

Tabla 25

Temperatura de Congelamiento al 5% Concentración de NaCl

Concentración de NaCl	Temperatura de congelamiento ($^{\circ}\text{C}$)
5%	-3.7
5%	-3.6
5%	-3.8
5%	-3.6
5%	-3.7
5%	-3.7
5%	-3.8
5%	-3.6
5%	-3.8
5%	-3.6

Tabla 26

Temperatura de Congelamiento al 10% Concentración de PG

Concentración de PG (propilen glicol)	Temperatura de congelamiento (°C)
10%	-2.8
10%	-2.7
10%	-2.6
10%	-2.7
10%	-2.8
10%	-2.8
10%	-2.7
10%	-2.7
10%	-2.8
10%	-2.8

Tabla 27

Temperatura de Congelamiento al 15% Concentración de PG

Concentración de PG (propilen glicol)	Temperatura de congelamiento (°C)
15%	-5.4
15%	-5.4
15%	-5.5
15%	-5.3
15%	-5.4
15%	-5.4
15%	-5.4
15%	-5.3
15%	-5.4
15%	-5.5

Luego de obtener los resultados se hizo un análisis de media y desviación estándar los cuales obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 28

Temperaturas de Congelamiento a ciertas Concentraciones de Aditivo

Concentración de Aditivo	Media (T ° de Congelamiento)	Desviación estándar (T° de Congelamiento)
3% NaCl	-1.92	0.07888
5% NaCl	-3.69	0.08755
10% PG	-2.74	0.06992
15% PG	-5.4	0.06667

- Conclusión:** Las temperaturas de congelamiento para las concentraciones elegidas son similares a las temperaturas de las gráficas extraídas de las fuentes bibliográficas, y la desviación estándar presenta una variabilidad mínima; lo cual hace aceptable que se pueda tomar como referencia los valores de las gráficas presentadas en investigaciones anteriores (Figura 15).
- Porcentaje de hielo- temperatura**
 - Observación:** Para cada concentración de hielo de la suspensión de Ice Slurry se tiene una temperatura específica, la cual será necesaria para alcanzar tales niveles de concentraciones según la teoría disponible.
 - Hipótesis:** La temperatura a la que se encuentra la suspensión de Ice Slurry a cierta concentración, debería ser similar a la temperatura mostrada en las Figuras 16 y 17.
 - Experimentación:** Se trabajará con concentraciones de aditivo de 5 % de NaCl y 10 % de PG en la mezcla, con el fin de comprobar a qué temperatura se generan los porcentajes de hielo suspendido de 45%, 40%, 30%, 20%, 15% y 10% en cada tipo de aditivo mencionado.

Tabla 29

Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a un 45% de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para NaCl al 5%	Temperatura en °C
1	45%	-6
2	45%	-6.1
3	45%	-6
4	45%	-5.9
5	45%	-6
6	45%	-6.1
7	45%	-6.1
8	45%	-6.2
9	45%	-6
10	45%	-6

Tabla 30

Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a un 30% de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para NaCl al 5%	Temperatura en °C
1	30%	-4.8
2	30%	-4.8
3	30%	-4.8
4	30%	-4.7
5	30%	-4.7
6	30%	-4.8
7	30%	-4.6
8	30%	-4.6
9	30%	-4.8
10	30%	-4.7

Tabla 31

Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a un 20 % de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para NaCl al 5%	Temperatura en °C
1	20%	-4
2	20%	-3.9
3	20%	-4
4	20%	-4
5	20%	-4.1
6	20%	-4
7	20%	-4.1
8	20%	-3.9
9	20%	-4
10	20%	-3.9

Tabla 32

Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a un 15% de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para NaCl al 5%	Temperatura en °C
1	15%	-3.8
2	15%	-3.8
3	15%	-3.9
4	15%	-3.7
5	15%	-3.8
6	15%	-3.7
7	15%	-3.7
8	15%	-3.7
9	15%	-3.7
10	15%	-3.8

Tabla 33

Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl a un 10% de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para NaCl al 5%	Temperatura en °C
1	10%	-3.6
2	10%	-3.6
3	10%	-3.7
4	10%	-3.6
5	10%	-3.6
6	10%	-3.5
7	10%	-3.5
8	10%	-3.6
9	10%	-3.7
10	10%	-3.6

Tabla 34

Temperatura para Ice Slurry en base a PG a un 40% de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para Propilenglicol al 10%	Temperatura en °C
1	40%	-6
2	40%	-6.1
3	40%	-6.1
4	40%	-5.9
5	40%	-5.9
6	40%	-6
7	40%	-6.1
8	40%	-6
9	40%	-6
10	40%	-5.9

Tabla 35

Temperatura para Ice Slurry en base a PG a un 30% de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para Propilenglicol al 10%	Temperatura en °C
1	30%	-4.7
2	30%	-4.6
3	30%	-4.7
4	30%	-4.7
5	30%	-4.8
6	30%	-4.6
7	30%	-4.8
8	30%	-4.7
9	30%	-4.9
10	30%	-4.7

Tabla 36

Temperatura para Ice Slurry en base a PG a un 20% de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para Propilenglicol al 10%	Temperatura en °C
1	20%	-4.1
2	20%	-4
3	20%	-4
4	20%	-4.1
5	20%	-3.9
6	20%	-4
7	20%	-4.1
8	20%	-4.1
9	20%	-4
10	20%	-3.9

Tabla 37

Temperatura para Ice Slurry en base a PG a un 15% de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para Propilenglicol al 10%	Temperatura en °C
1	15%	-3.5
2	15%	-3.5
3	15%	-3.6
4	15%	-3.5
5	15%	-3.4
6	15%	-3.5
7	15%	-3.5
8	15%	-3.6
9	15%	-3.6
10	15%	-3.4

Tabla 38

Temperatura para Ice Slurry en base a PG a un 10% de Concentración de hielo

N° de muestra	Concentración de hielo para Propilenglicol al 10%	Temperatura en °C
1	10%	-3.2
2	10%	-3.2
3	10%	-3.3
4	10%	-3.2
5	10%	-3.1
6	10%	-3.2
7	10%	-3.2
8	10%	-3.2
9	10%	-3.1
10	10%	-3.3

Luego de procesar la data se hizo un análisis de media y desviación estándar, siendo los resultados, los siguientes:

Tabla 39

Temperatura para Ice Slurry en base a NaCl y PG a ciertas Concentraciones de hielo

Concentración de aditivo	Concentración de hielo	Temperatura media (°C)	Desviación Estándar de T°
Propilenglicol al 10%	40%	-6	0.08164
	30%	-4.72	0.09189
	20%	-4.02	0.07888
	15%	-3.51	0.07378
	10%	-3.2	0.06667
NaCl al 5%	45%	-6.04	0.08433
	30%	-4.73	0.08233
	20%	-3.99	0.07379
	15%	-3.76	0.06992
	10%	-3.6	0.06667

- **Conclusión:** Las temperaturas medias para las concentraciones de hielo propuestas son similares a las temperaturas encontradas en las gráficas de las fuentes bibliográficas provenientes de investigaciones previas. Así también la desviación estándar para experiencia planteada presenta una variabilidad mínima; lo cual hace aceptable que se pueda tomar como referencia los valores de las gráficas presentadas en el marco teórico correspondientes a investigaciones anteriores.
- **Fluidez en el circuito de bombeo con previa agitación**
 - **Observación:** Cuando se genera Ice Slurry en un tanque de almacenamiento este puede ser bombeado y seguir generando el fluido secundario hasta llegar a un tope como concentración de un aproximado de 50% de hielo sin la presencia de agitadores

- **Conclusión:** Para un equipo de generación de Ice Slurry tipo rascador el cual trabaja con bombas centrifugas, las concentraciones de 30% de hielo o más que han tenido homogenización a través de agitación en su depósito de almacenamiento, no fluyen por el circuito de bombeo. Sin embargo, para concentraciones del 20% la suspensión de Ice Slurry ya empieza a fluir, pero con complicaciones; lo cual indica que si se desea trabajar con bombas centrifugas para impulsar Ice Slurry homogenizado, solo será de aplicación estas bombas para concentraciones menores a 20% de hielo.

Tal comportamiento debe tomarse en cuenta al momento de realizar el intercambio de calor entre fluidos.

- **Relación de caudal de los líquidos intercambiados**

- **Observación:** A cierta proporción de flujo de los líquidos dispuestos para el intercambio de calor (agua fría y leche) se tiene a cierta temperatura.

- **Hipótesis:** Debe existir una proporción adecuada entre los líquidos dispuestos para el intercambio de calor para lograr el enfriamiento del producto a la temperatura de conservación requerida (caso de la leche entre 3 y 5 °C).

- **Experimentación:** Se llevó a cabo 10 experiencias con los intercambiadores de calor disponibles, haciendo fluir leche a 38 °C frente a un flujo de agua enfriada a 1°C (con previo pre-enfriamiento de la leche), buscando obtener una temperatura promedio de 4°C y registrando los caudales de dichos fluidos.

De tales experimentos se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 45

Temperatura de la leche enfriada a cierta proporción de caudales de líquidos intercambiados

N° de Muestra	Relación de caudales (Leche-Agua)	T° final de Producto (°C)
1	3.2	4
2	3.2	4.1
3	3.3	4.5
4	3.3	4.3
5	3.3	4
6	3.2	4.5
7	3.1	4.1
8	3.3	4
9	3.3	4.4
10	3.2	4

Luego de procesar los resultados obtenidos de las experiencias se hizo un análisis de media y desviación estándar, siendo los resultados arrojados lo siguientes:

Tabla 46

Temperatura Media y DS de la leche enfriada a cierta proporción de caudales de líquidos intercambiados

T° final promedio del producto (°C)	Desviación Estándar (T ° final del producto)	Relación de caudales promedio	Desviación Estándar (Relación de caudales)
4.19	0.213177026	3.24	0.06992059

- **Conclusión:** Para hacer descender la temperatura de la leche cruda salida de ordeño a una temperatura promedio de conservación de 4°C, se debe utilizar una proporción de 1 a 3 (leche-agua fría). De acuerdo a las experiencias realizadas, existe una variabilidad baja en cuanto a los aspectos estudiados: Temperatura final del producto y relación de caudales.

- **Porcentaje de hielo - tiempo de generación**
 - **Observación:** Al contarse con un equipo de generación de ice Slurry con una capacidad de producción de 4.2 T/24 horas a un porcentaje de concentración de hielo al 45%, se desconoce la capacidad y el tiempo de generación cuando se trabaja con porcentajes menores.

 - **Hipótesis:** La capacidad de producción trabajando al 45% de hielo corresponde a lo indicado en la ficha de parámetros técnicos del equipo (Anexo 4), teniendo la libertad de operar a concentraciones menores de hielo con una mayor capacidad de producción.

 - **Experimentación:** Se llevó a cabo 10 experiencias con un volumen de 900 litros de Ice Slurry con los siguientes porcentajes hielo suspendido de: 45, 30, 20, 15, 10. Las concentraciones del aditivo se escogieron de acuerdo a las pruebas preliminares anteriores y a entrevistas a expertos, trabajando así con concentraciones de 3% de NaCl y 15% de Propilenglicol.

Los resultados de las experiencias se muestran a continuación:

Tabla 47

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 45% de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
3% NaCl	45	174.05	4.18	900	5.171	310.25
3% NaCl	45	173.85	4.17	900	5.177	310.61
3% NaCl	45	174.12	4.18	900	5.169	310.13
3% NaCl	45	173.94	4.17	900	5.174	310.45
3% NaCl	45	173.92	4.17	900	5.175	310.49
3% NaCl	45	174.12	4.18	900	5.169	310.13
3% NaCl	45	174.06	4.18	900	5.171	310.24
3% NaCl	45	174.06	4.18	900	5.171	310.24
3% NaCl	45	173.92	4.17	900	5.175	310.49
3% NaCl	45	173.99	4.18	900	5.173	310.37

Tabla 48

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 30% de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
3% NaCl	30	253.26	6.08	900	3.554	213.22
3% NaCl	30	253.00	6.07	900	3.557	213.44
3% NaCl	30	253.34	6.08	900	3.552	213.15
3% NaCl	30	253.11	6.07	900	3.556	213.34
3% NaCl	30	253.09	6.07	900	3.556	213.37
3% NaCl	30	253.34	6.08	900	3.552	213.15
3% NaCl	30	253.27	6.08	900	3.554	213.21
3% NaCl	30	253.27	6.08	900	3.554	213.21
3% NaCl	30	253.09	6.07	900	3.556	213.37
3% NaCl	30	253.17	6.08	900	3.555	213.29

Tabla 49

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 20% de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
3% NaCl	20	368.51	8.84	900	2.442	146.54
3% NaCl	20	368.18	8.84	900	2.444	146.67
3% NaCl	20	368.62	8.85	900	2.442	146.49
3% NaCl	20	368.32	8.84	900	2.444	146.61
3% NaCl	20	368.29	8.84	900	2.444	146.62
3% NaCl	20	368.62	8.85	900	2.442	146.49
3% NaCl	20	368.52	8.84	900	2.442	146.53
3% NaCl	20	368.52	8.84	900	2.442	146.53
3% NaCl	20	368.29	8.84	900	2.444	146.62
3% NaCl	20	368.40	8.84	900	2.443	146.58

Tabla 50

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 15% de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
3% NaCl	15	480.86	11.54	900	1.872	112.30
3% NaCl	15	480.47	11.53	900	1.873	112.39
3% NaCl	15	480.99	11.54	900	1.871	112.27
3% NaCl	15	480.64	11.54	900	1.873	112.35
3% NaCl	15	480.60	11.53	900	1.873	112.36
3% NaCl	15	480.99	11.54	900	1.871	112.27
3% NaCl	15	480.87	11.54	900	1.872	112.30
3% NaCl	15	480.87	11.54	900	1.872	112.30
3% NaCl	15	480.60	11.53	900	1.873	112.36
3% NaCl	15	480.73	11.54	900	1.872	112.33

Tabla 51

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 3% NaCl con 10% de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción Kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
3% NaCl	10	699.68	16.79	900	1.286	77.18
3% NaCl	10	699.20	16.78	900	1.287	77.23
3% NaCl	10	699.84	16.80	900	1.286	77.16
3% NaCl	10	699.41	16.79	900	1.287	77.21
3% NaCl	10	699.36	16.78	900	1.287	77.21
3% NaCl	10	699.84	16.80	900	1.286	77.16
3% NaCl	10	699.70	16.79	900	1.286	77.18
3% NaCl	10	699.70	16.79	900	1.286	77.18
3% NaCl	10	699.36	16.78	900	1.287	77.21
3% NaCl	10	699.52	16.79	900	1.287	77.20

Tabla 52

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 45% de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción Kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
15% PG	45	167.45	4.02	900	5.375	322.49
15% PG	45	167.67	4.02	900	5.368	322.07
15% PG	45	167.71	4.03	900	5.366	321.99
15% PG	45	167.79	4.03	900	5.364	321.83
15% PG	45	167.79	4.03	900	5.364	321.83
15% PG	45	167.66	4.02	900	5.368	322.07
15% PG	45	168.11	4.03	900	5.354	321.21
15% PG	45	168.03	4.03	900	5.356	321.37
15% PG	45	168.12	4.03	900	5.353	321.20
15% PG	45	168.19	4.04	900	5.351	321.07

Tabla 53

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 30% de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción Kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
15% PG	30	245.96	5.90	900	3.659	219.55
15% PG	30	246.29	5.91	900	3.654	219.25
15% PG	30	245.62	5.89	900	3.664	219.85
15% PG	30	247.22	5.93	900	3.641	218.43
15% PG	30	247.05	5.93	900	3.643	218.58
15% PG	30	246.96	5.93	900	3.644	218.66
15% PG	30	247.13	5.93	900	3.642	218.51
15% PG	30	246.88	5.93	900	3.646	218.73
15% PG	30	246.80	5.92	900	3.647	218.80
15% PG	30	245.62	5.89	900	3.664	219.85

Tabla 54

Producción (Kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 20% de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción Kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
15% PG	20	357.46	8.58	900	2.518	151.07
15% PG	20	357.83	8.59	900	2.515	150.91
15% PG	20	357.90	8.59	900	2.515	150.88
15% PG	20	358.04	8.59	900	2.514	150.82
15% PG	20	358.04	8.59	900	2.514	150.82
15% PG	20	357.82	8.59	900	2.515	150.91
15% PG	20	358.57	8.61	900	2.510	150.60
15% PG	20	358.44	8.60	900	2.511	150.65
15% PG	20	358.58	8.61	900	2.510	150.59
15% PG	20	358.71	8.61	900	2.509	150.54

Tabla 55

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 15 % de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción Kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
15% PG	15	457.24	10.97	900	1.968	118.10
15% PG	15	457.58	10.98	900	1.967	118.01
15% PG	15	457.48	10.98	900	1.967	118.04
15% PG	15	459.10	11.02	900	1.960	117.62
15% PG	15	458.85	11.01	900	1.961	117.69
15% PG	15	456.34	10.95	900	1.972	118.33
15% PG	15	457.71	10.98	900	1.966	117.98
15% PG	15	456.34	10.95	900	1.972	118.33
15% PG	15	471.06	11.31	900	1.911	114.63
15% PG	15	458.43	11.00	900	1.963	117.79

Tabla 56

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a 15% de PG con 10 % de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción Kg/h	Producción Tn/24 h	Volumen del tanque (Litros)	Horas	Minutos
15% PG	10	685.96	16.46	900	1.312	78.72
15% PG	10	686.59	16.48	900	1.311	78.65
15% PG	10	685.33	16.45	900	1.313	78.79
15% PG	10	688.34	16.52	900	1.308	78.45
15% PG	10	688.02	16.51	900	1.308	78.49
15% PG	10	687.86	16.51	900	1.308	78.50
15% PG	10	688.18	16.52	900	1.308	78.47
15% PG	10	687.70	16.50	900	1.309	78.52
15% PG	10	687.54	16.50	900	1.309	78.54
15% PG	10	685.33	16.45	900	1.313	78.79

Luego de obtener los resultados se hizo un análisis de media y desviación estándar para la data recolectada, arrojando lo siguientes resultados:

Tabla 57

Producción (kg/h) de Ice Slurry en base a NaCl y PG con cierto % de Concentración de hielo

Concentración de Aditivo	Concentración % Hielo	Producción Promedio kg/h	Desviación Estándar
3% NaCl	45	174.00	0.16
3% NaCl	30	253.19	0.10
3% NaCl	20	368.43	0.06
3% NaCl	15	480.76	0.04
3% NaCl	10	699.56	0.02
15% PG	45	167.85	0.47
15% PG	30	246.55	0.55
15% PG	20	358.14	0.17
15% PG	15	480.76	0.25
15% PG	10	687.09	0.13

- **Conclusión:** De acuerdo a los análisis de media y desviación estándar se tiene que los tiempos para generar Ice Slurry varían de acuerdo a la concentración de hielo suspendido que se quiere producir. De tal forma el análisis estadístico muestra que los tiempos obtenidos al realizar las experiencias al momento de generar cada concentración de hielo tiene poca variabilidad pudiendo tomar la media de estos para una estimación de cuánto se demora en obtener tales porcentajes de hielo.

En tal sentido, se deduce también que entre más baja la concentración de hielo a alcanzar, los tiempos de generación serán menores; y por tal la capacidad de producción mayor.

A su vez, se comprueba que la capacidad nominal de producción Tn/día del equipo de generación es similar a la capacidad obtenida producto de los experimentos. Demostrando así que el equipo trabaja a condiciones normales y las requeridas para nuestra investigación.

2. Pruebas del Diseño Experimental con Arreglos Ortogonales

El diseño experimental se elaboró utilizando la herramienta de ingeniería de la calidad “Arreglos Ortogonales” teniendo así 8 distintos arreglos con los factores más resaltantes al momento de enfriar leche cruda de 38°C a una temperatura objetivo de 4°C.

Para tal efecto se planteó hacer 20 experiencias por cada arreglo, quedando la configuración de estos de la manera como se muestra en la tabla 58.

Tabla 58

Matriz de Arreglo Ortogonal L8 propuesto en el diseño experimental

Agitación	Porcentaje de aditivo	Porcentaje de hielo	Proporción de flujo entre leche y fluido frío	Área Total de Transferencia de calor
Con Agitación	15% PG	5%	Acorde al Balance de Materia y Energía	4.8 m ²
Con Agitación	15% PG	5%	Factor de 1.5 veces el flujo de la leche	4 m ²
Con Agitación	3% NaCl	15%	Acorde al Balance de Materia y Energía	4.8 m ²
Con Agitación	3% NaCl	15%	Factor de 1.5 veces el flujo de la leche	4 m ²
Sin Agitación	15% PG	15%	Acorde al Balance de Materia y Energía	4 m ²
Sin Agitación	15% PG	15%	Factor de 1.5 veces el flujo de la leche	4.8 m ²
Sin Agitación	3% NaCl	5%	Acorde al Balance de Materia y Energía	4 m ²
Sin Agitación	3 % NaCl	5%	Factor de 1.5 veces el flujo de la leche	4.8 m ²

A partir de las experiencias realizadas los resultados promedios obtenidos para cada arreglo son los mostrados en la Tabla 59.

Tabla 59

Temperaturas iniciales y finales resultantes de la puesta en marcha de los experimentos

Arreglo	T ° inicial Promedio en °C (Ice Slurry)	T ° final Promedio en °C (Ice Slurry)	T ° inicial Promedio en °C (Leche Cruda)	T ° Promedio en °C (Leche Pre enfriada)	T ° final Promedio en °C (Leche fría)
1	-5.16	5.51	38.22	24.05	4.15
2	-5.16	3.345	37.99	24.08	6.42
3	-2.07	5.46	38.75	23.97	3.91
4	-2.06	0.08	38.2	23.99	5.11
5	-5.06	5.41	38.75	24.02	4.22
6	-5.05	5.72	38.23	24.02	7.32
7	-1.86	7.86	38.1	24.07	5.11
8	-1.845	12.98	38.13	24.03	1.44

A fin de seleccionar, determinar y evaluar el mejor arreglo se está utilizando las siguientes herramientas para el análisis de tales resultados:

- Análisis de media y desviación Estándar de la temperatura final de la leche fría
- Gráficas de Control X de la temperatura final de la leche fría.
- Evaluación cualitativa mediante matriz de Ranking de criterio para cada Arreglo.
- Prueba de Hipótesis

2.1. Análisis de media y desviación Estándar

Las temperaturas promedio finales a las que se obtuvo la leche llegan a ser cercanas al objetivo por las combinaciones de los factores propuestas por los arreglos 1, 3, 4, 5, y 7.

Sin embargo, la variabilidad de las mediciones es mayor entre los arreglos 5 y 8 debido a la ausencia de agitación al momento de realizar el intercambio de calor entre fluidos.

Tal como se observa en la Tabla 60 solo los arreglos 1 y 3 alcanzan la temperatura objetivo de enfriamiento con una variabilidad baja.

Tabla 60

Des. Estándar y Temperaturas Promedio de la leche fría resultantes de la puesta en marcha de los experimentos del arreglo L8

Arreglo	T ° final Promedio en °C (Leche fría)	T ° final Des. Estándar (Leche fría)
1	4.15	0.1573
2	6.42	0.2913
3	3.91	0.2038
4	5.11	0.2328
5	4.22	0.3184
6	7.32	0.3071
7	5.11	0.3354
8	1.44	0.3043

2.2.Gráficas de Control

A fin de determinar cuáles de los arreglos nos permiten tener un proceso estable al combinar los factores críticos, se analizó la temperatura resultante del enfriamiento de leche por cada combinación arreglos usando como herramienta las gráficas de control.

Para tales gráficas se tomó como punto crítico de control la temperatura de la leche, y como límites de control las temperaturas de 3 y 5 °C como límite inferior y superior

respectivamente. Tales límites fueron determinados de acuerdo a la bibliografía y entrevista a expertos.

a. Arreglo 1

Para la combinación de factores en este arreglo se pudo notar que el proceso es estable.

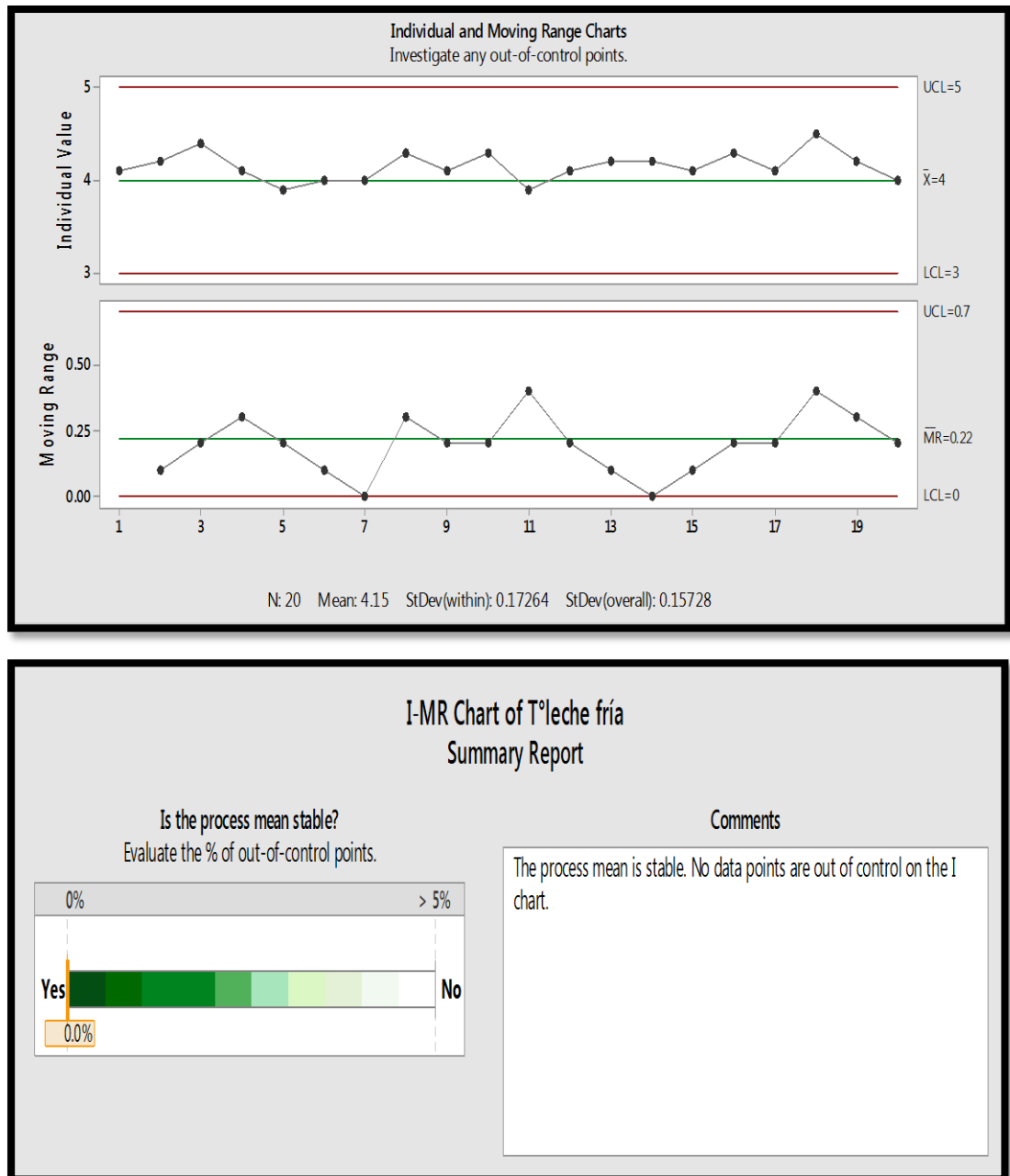


Figura 27:: Gráfica de control y análisis del Arreglo 1

Elaboración Propia

b. Arreglo 2

Para la combinación de factores en este arreglo se pudo notar que el proceso no es estable, escapando fuera de los parámetros de control todas las mediciones.

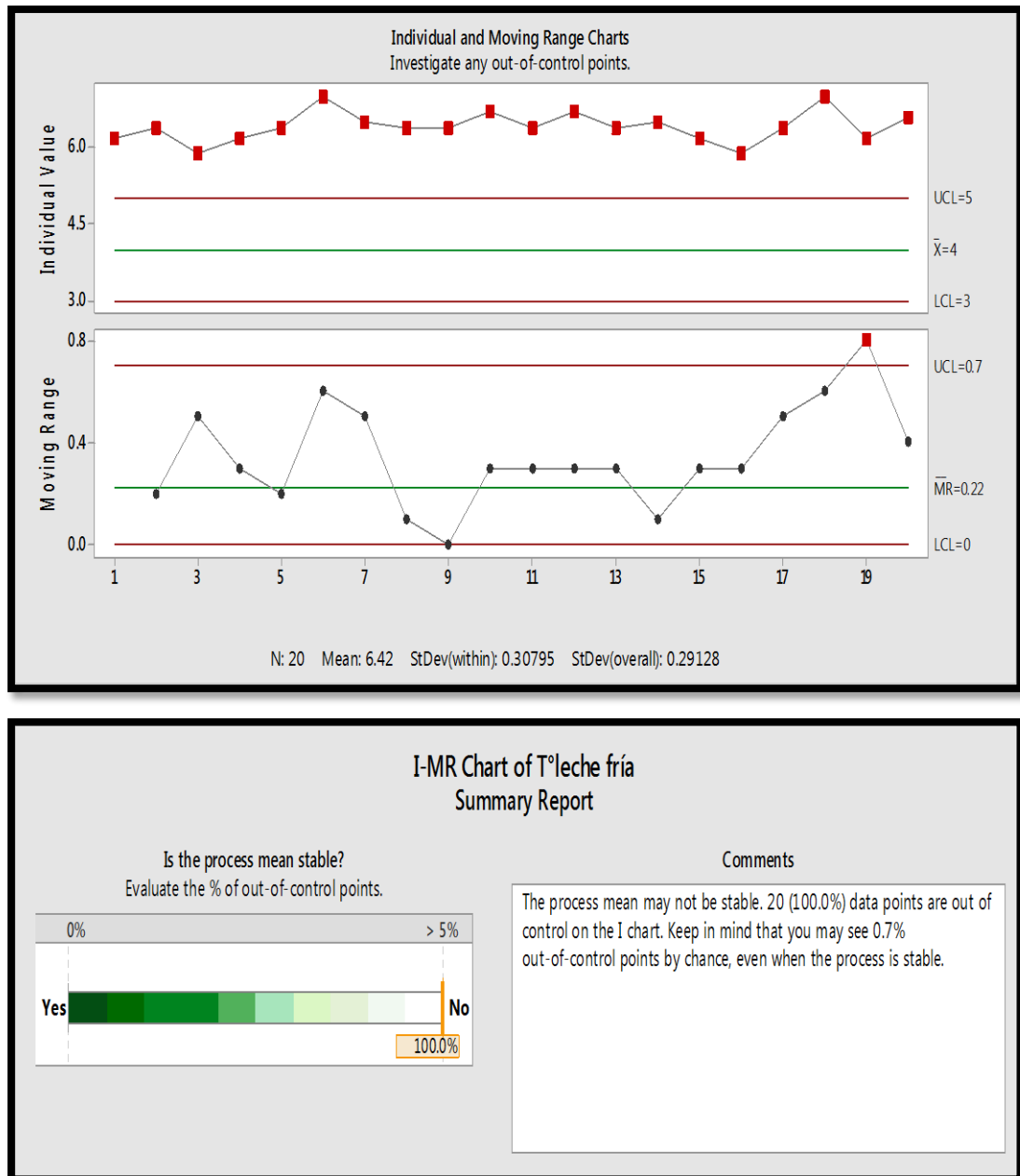


Figura 28: Gráfica de control y análisis del Arreglo 2
Elaboración Propia

c. Arreglo 3

Para la combinación de factores en este arreglo se pudo notar que el proceso es estable

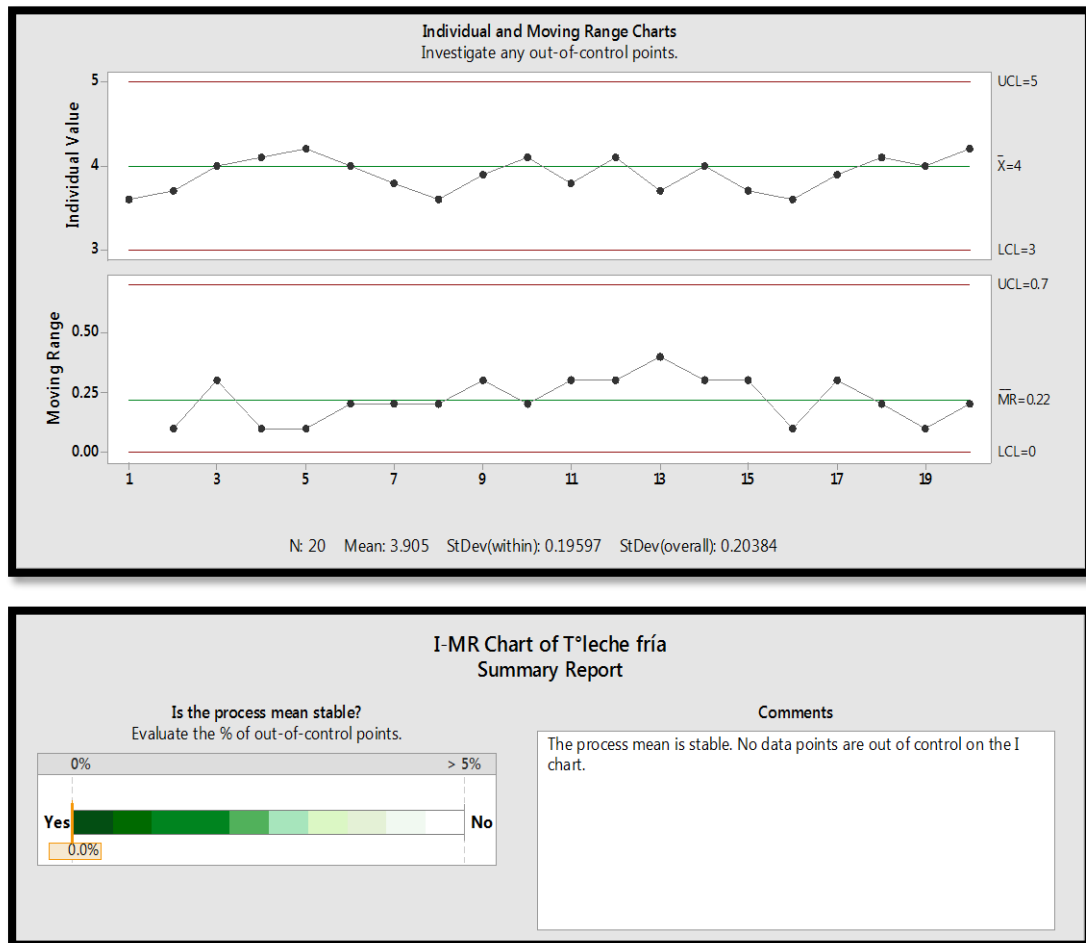


Figura 29: Gráfica de control y análisis del Arreglo 3

Elaboración Propia

d. Arreglo 4

Para la combinación de factores en este arreglo se pudo notar que el proceso no es estable, escapando fuera de los parámetros de control un 85 % de las mediciones.

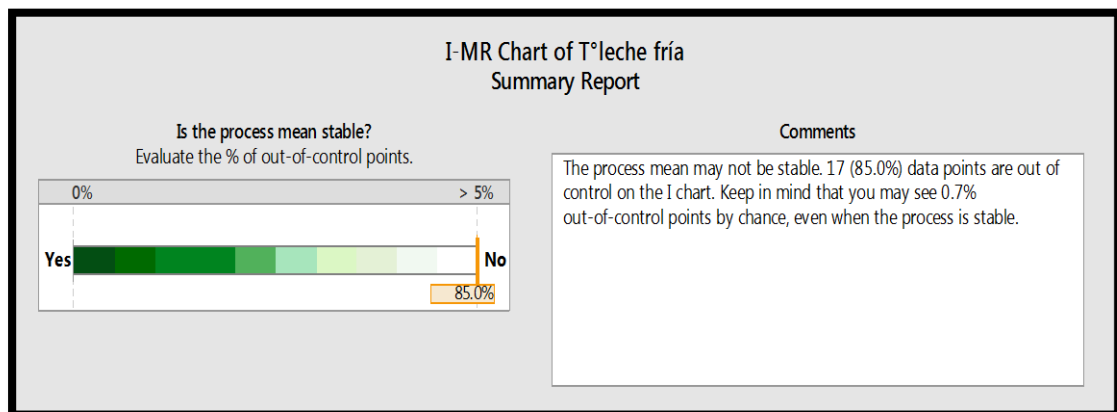
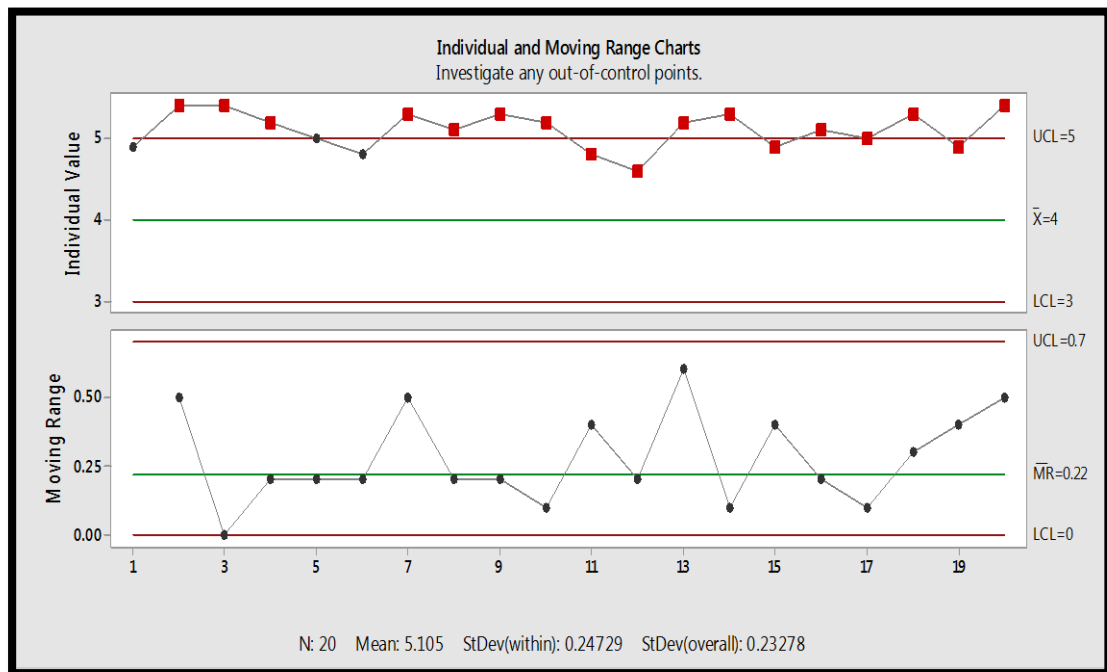


Figura 30: Gráfica de control y análisis del Arreglo 4

Elaboración Propia

e. Arreglo 5

Para la combinación de factores en este arreglo se pudo notar que el proceso es estable.

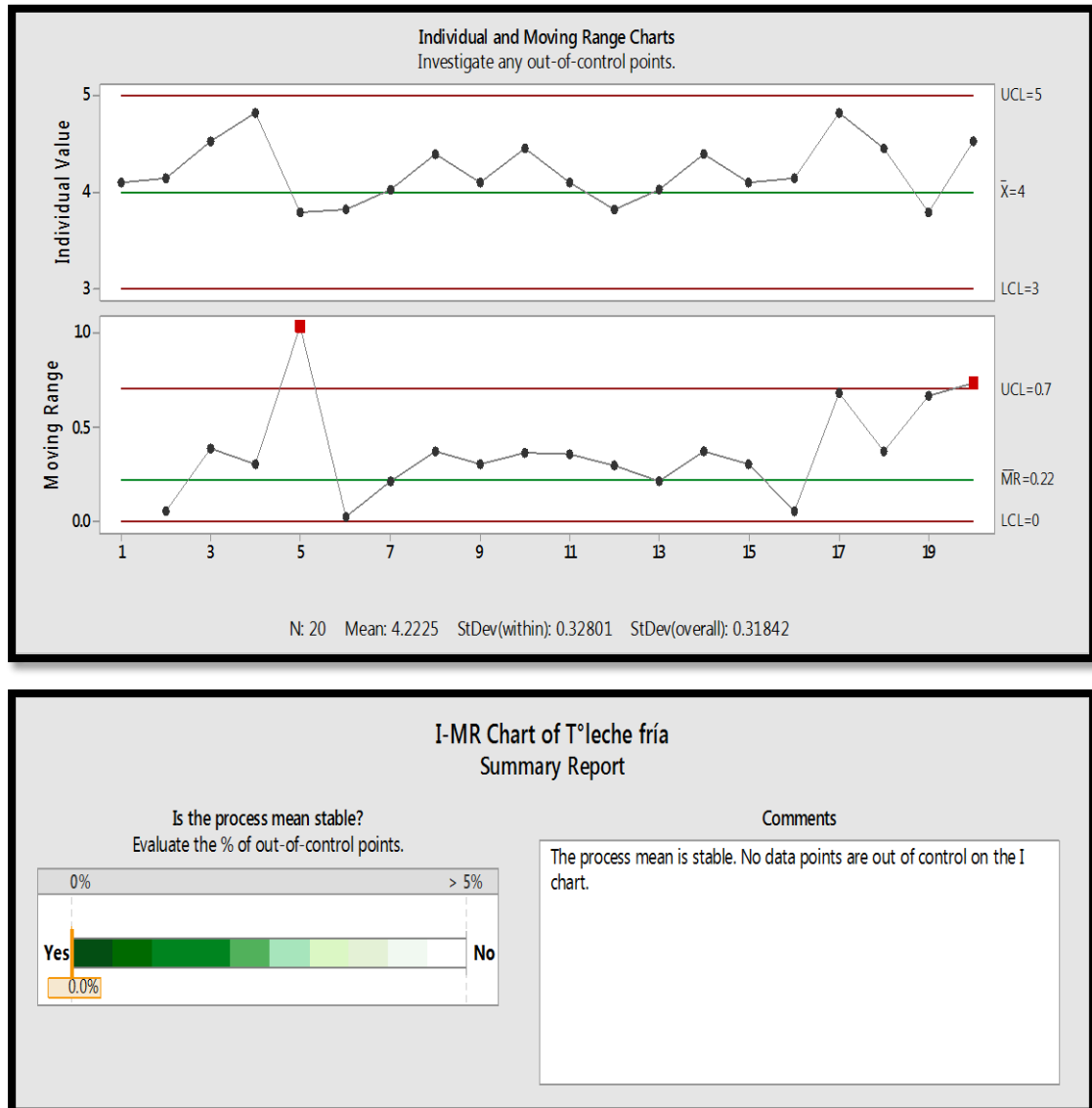


Figura 31: Gráfica de control y análisis del Arreglo 5
Elaboración Propia

f. Arreglo 6

Para la combinación de factores en este arreglo se pudo notar que el proceso no es estable, escapando fuera de los parámetros de control un 100% de las mediciones.

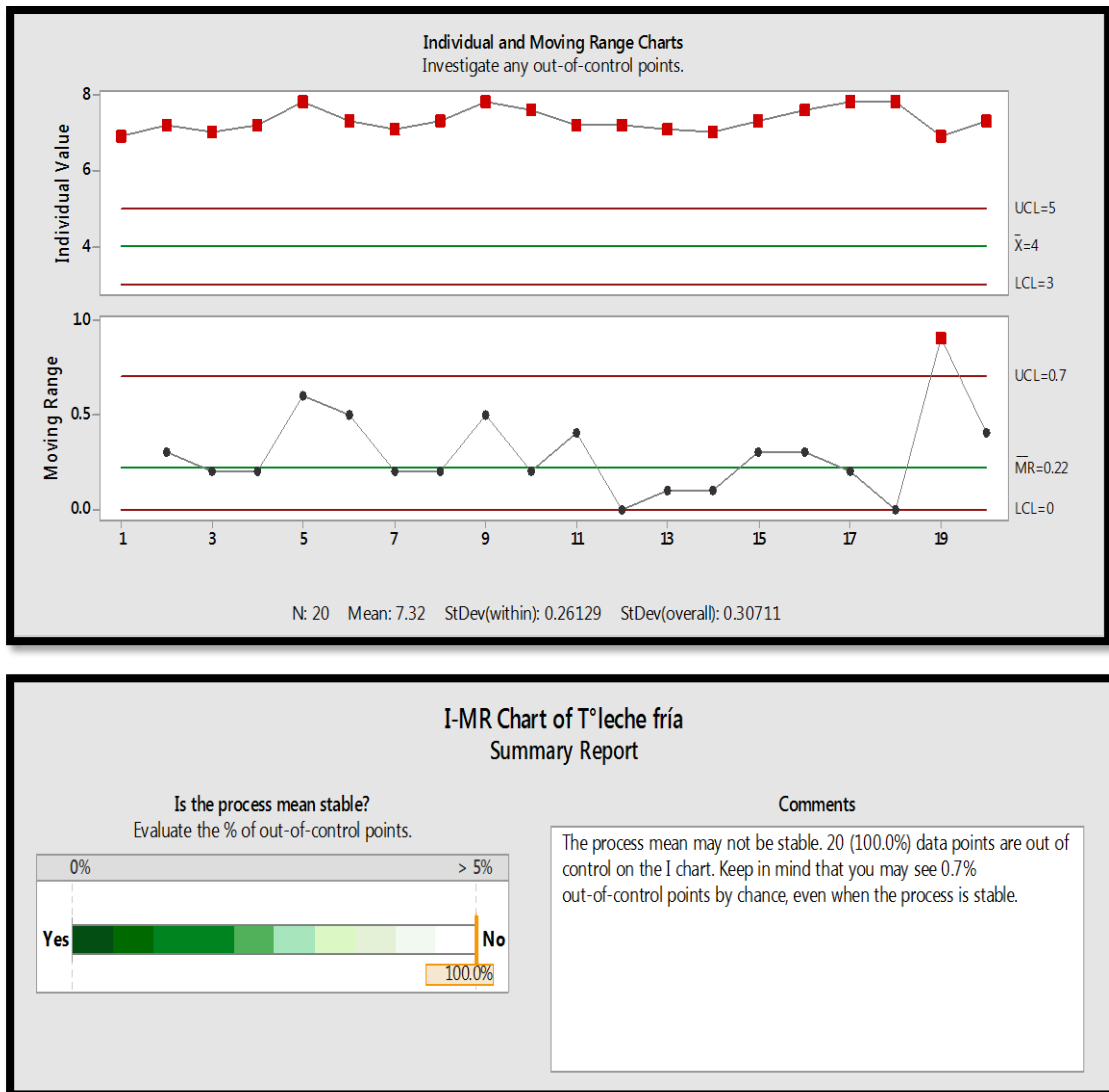


Figura 32: Gráfica de control y análisis del Arreglo 6
Elaboración Propia

g. Arreglo 7

Para la combinación de factores en este arreglo se pudo notar que el proceso no es estable, escapando fuera de los parámetros de control un 85% de las mediciones por encima del límite de control superior.

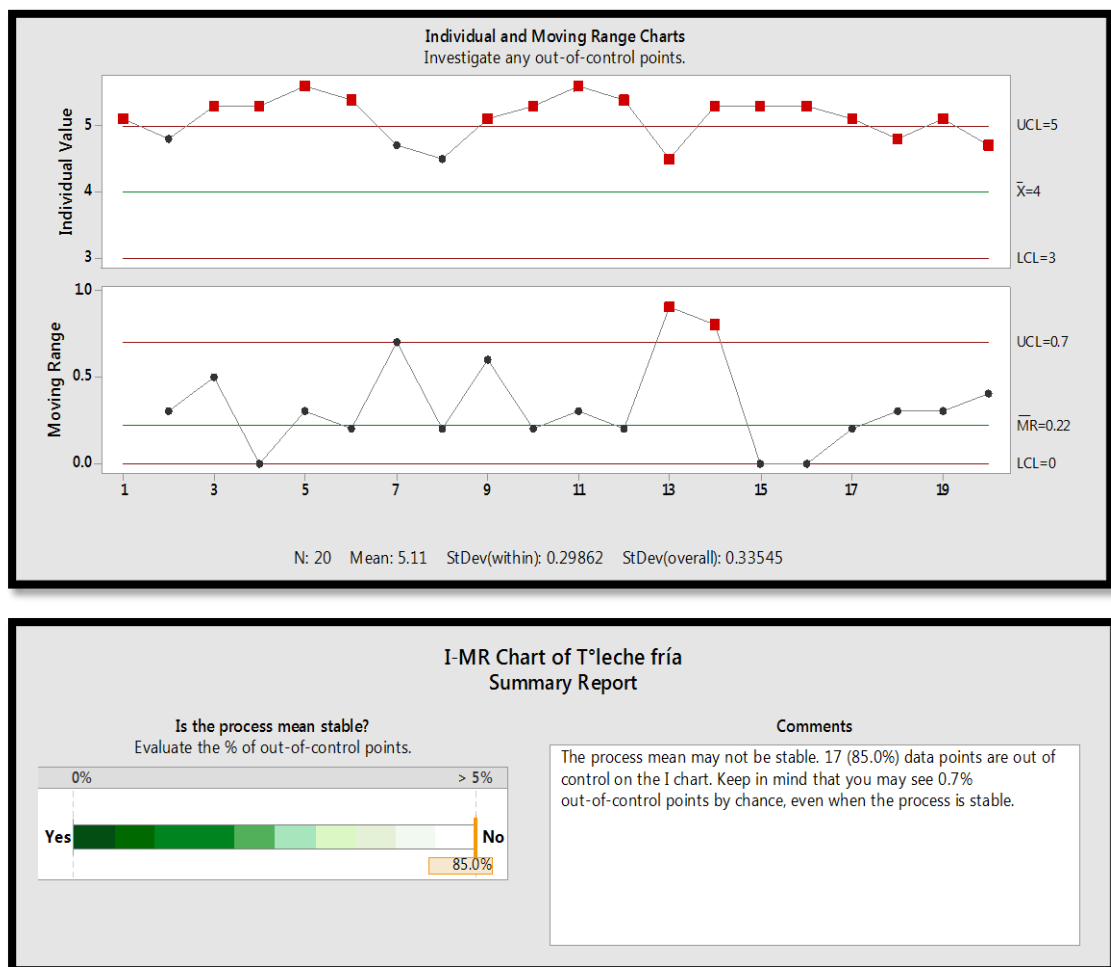


Figura 33: Gráfica de control y análisis del Arreglo 7
Elaboración Propia

h. Arreglo 8

Para la combinación de factores en este arreglo se pudo notar que el proceso no es estable, escapando fuera de los parámetros de control un 100% de las mediciones.

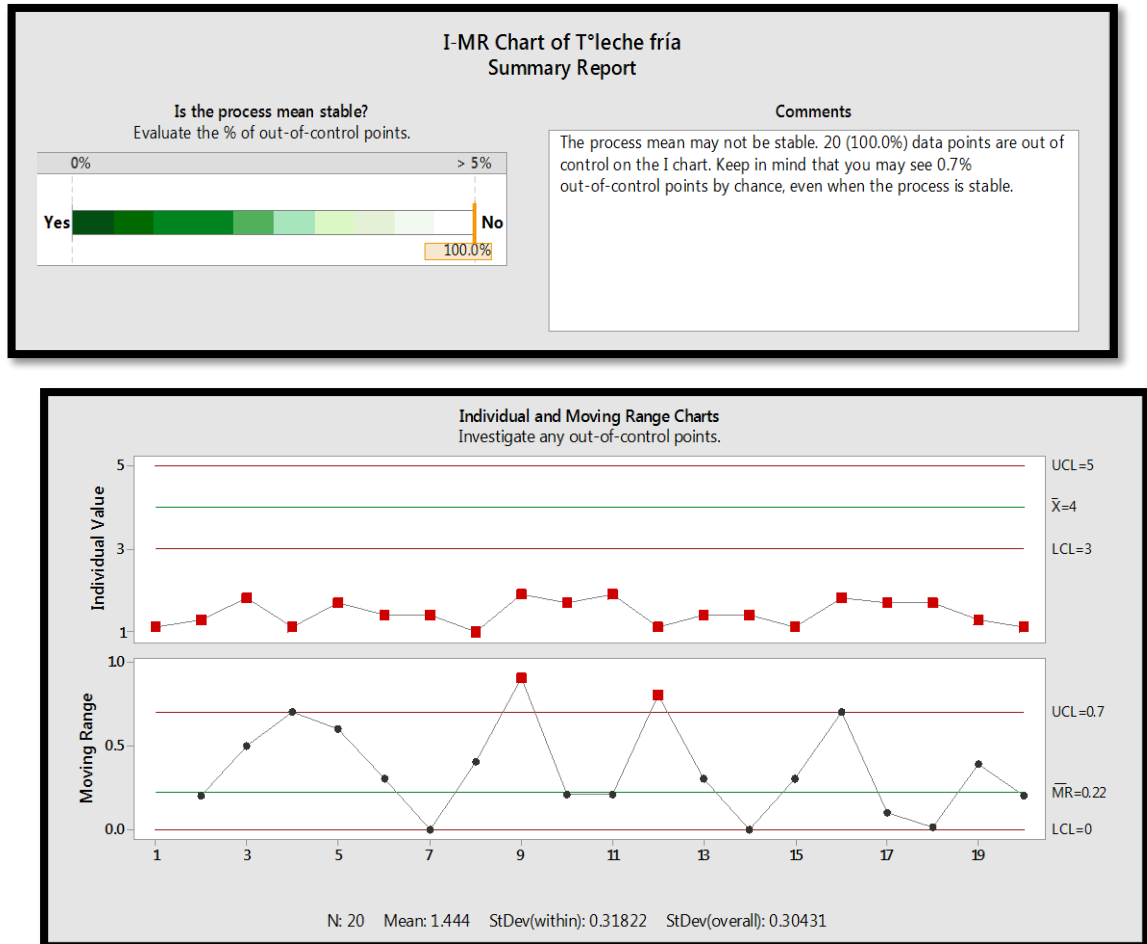


Figura 34: Gráfica de control y análisis del Arreglo 8

Elaboración Propia

2.3.Evaluación cualitativa mediante matriz de Ranking de criterio

Ya que a partir de los anteriores análisis se obtienen varios arreglos que permiten el enfriamiento de la leche a la temperatura objetivo, a fin de determinar el mejor arreglo para la combinación de los factores se plantea una evaluación cualitativa en base a los siguientes criterios:

- Temperatura Objetivo de enfriamiento: Temperatura aceptable para conservar la

leche.

- Mínima Cantidad de Fluido Secundario.
- Mínima Pérdida de T° de fluido Secundario .
- Mínima Cantidad de Aditivo.
- Mínimo Costo por Aditivo.

Los criterios mostrados tienen distinta relevancia para el análisis, es por tal que para determinar el peso que tiene cada uno se ha hecho uso de una matriz de enfrentamiento (Tabla 61)

Tabla 61

Matriz de enfrentamiento para determinación del peso de cada criterio de evaluación

MATRIZ DE ENFRENTAMIENTO								
CRITERIO		A	B	C	D	E	TOTAL	PESO
• Criterio 1	A		1	1	1	0.5	3.5	35%
• Criterio 2	B	0		0.5	0.5	0	1	10%
• Criterio 3	C	0	0.5		0.5	0	1	10%
• Criterio 4	D	0	0.5	0.5		0	1	10%
• Criterio 5	E	0.5	1	1	1		3.5	35%
TOTAL							10	100%

Ya con las valorizaciones se empieza a dar una calificación de acuerdo a cuanto cumple cada arreglo con cada uno de los criterios de acuerdo a la matriz de Ranking de Factores.

Tabla 62

Matriz de Ranking de Criterios para Arreglos 1 y 2

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MEJOR ARREGLO	PESO	Arreglo 1		Arreglo 2	
		Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado
• Criterio 1	35%	3	1.05	0	0.00
• Criterio 2	10%	2	0.20	1	0.10
• Criterio 3	10%	2	0.20	3	0.30
• Criterio 4	10%	1	0.10	0	0.00
• Criterio 5	35%	1	0.35	0	0.00
			1.90		0.40

Tabla 63

Matriz de Ranking de Criterios para Arreglos 3 y 4

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MEJOR ARREGLO	PESO	Arreglo 3		Arreglo 4	
		Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado
• Criterio 1	35%	4	1.40	1	0.35
• Criterio 2	10%	3	0.30	1	0.10
• Criterio 3	10%	2	0.20	4	0.40
• Criterio 4	10%	4	0.40	3	0.30
• Criterio 5	35%	4	1.40	3	1.05
			3.70		2.20

Tabla 64

Matriz de Ranking de Criterios para Arreglos 5 y 6

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MEJOR ARREGLO	PESO	Arreglo 5		Arreglo 6	
		Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado
• Criterio 1	35%	0	0.00	0	0.00
• Criterio 2	10%	4	0.40	1	0.10
• Criterio 3	10%	0	0.00	2	0.20
• Criterio 4	10%	2	0.20	0	0.00
• Criterio 5	35%	2	0.70	0	0.00
			1.30		0.30

Tabla 65

Matriz de Ranking de Criterios para Arreglos 7 y 8

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MEJOR ARREGLO	PESO	Arreglo 7		Arreglo 8	
		Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado
• Criterio 1	35%	2	0.70	2	0.70
• Criterio 2	10%	1	0.10	1	0.10
• Criterio 3	10%	1	0.10	0	0.00
• Criterio 4	10%	3	0.30	3	0.30
• Criterio 5	35%	3	1.05	3	1.05
			2.25		2.15

El arreglo con la mayor calificación es el N°3 debido a que de acuerdo a las experiencias, alcanza la temperatura objetivo de enfriamiento para la conservación de la leche, usa una cantidad mínima de fluido secundario y tiene el menor costo por cantidad del aditivo (Sal industrial) para generar el Ice Slurry.

Ya teniendo seleccionado el arreglo, en la Figura 35 se observa el diagrama de bloques que integra las variables cuantitativas y cualitativas del proceso de enfriamiento con el sistema Ice Slurry.

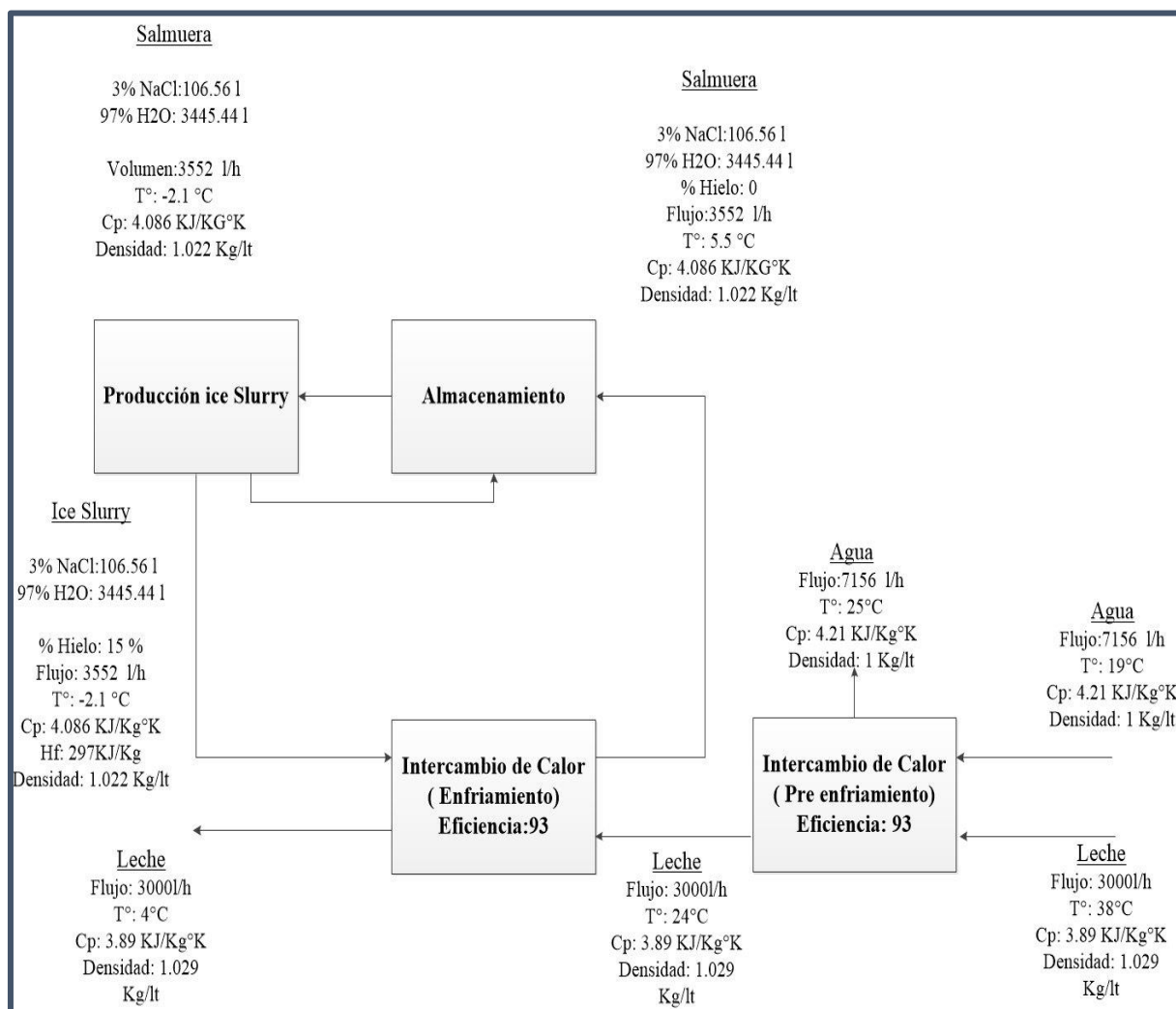


Figura 35: Diagrama de Bloques de la propuesta
Elaboración propia

2.4.Prueba de Hipótesis

Para el análisis de los resultados obtenidos en la investigación en esta parte, se realizó una prueba de Hipótesis para el arreglo seleccionado anteriormente. Para tal efecto:

H_0 : La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica permite enfriar la leche cruda a una temperatura mayor o igual de 5°C, la cual es el parámetro máximo del rango térmico adecuado para la refrigeración de la leche cruda (3 a 5 °C).

H_1 : La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica permite enfriar la leche cruda a una temperatura inferior a 5°C, la cual es el parámetro máximo del rango térmico adecuado para la refrigeración de la leche cruda (3 a 5 °C).

$$H_0: \mu \geq 5$$

$$H_1: \mu < 5$$

Donde μ es la media de la temperatura a la cual se enfrió la leche cruda

Teniendo planteadas la hipótesis nula y alternativa se procedió al análisis usando una prueba simple con T de Student para la media, obteniéndose los siguientes resultados:

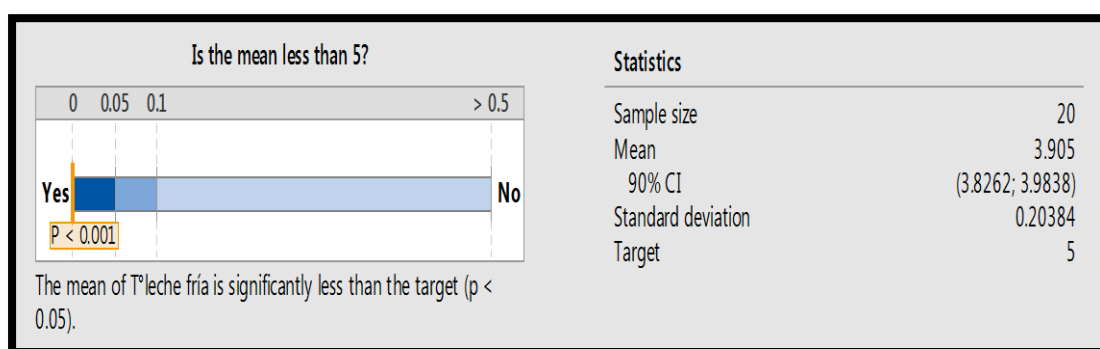


Figura 36: Estadística del análisis de la hipótesis

Elaboración Propia

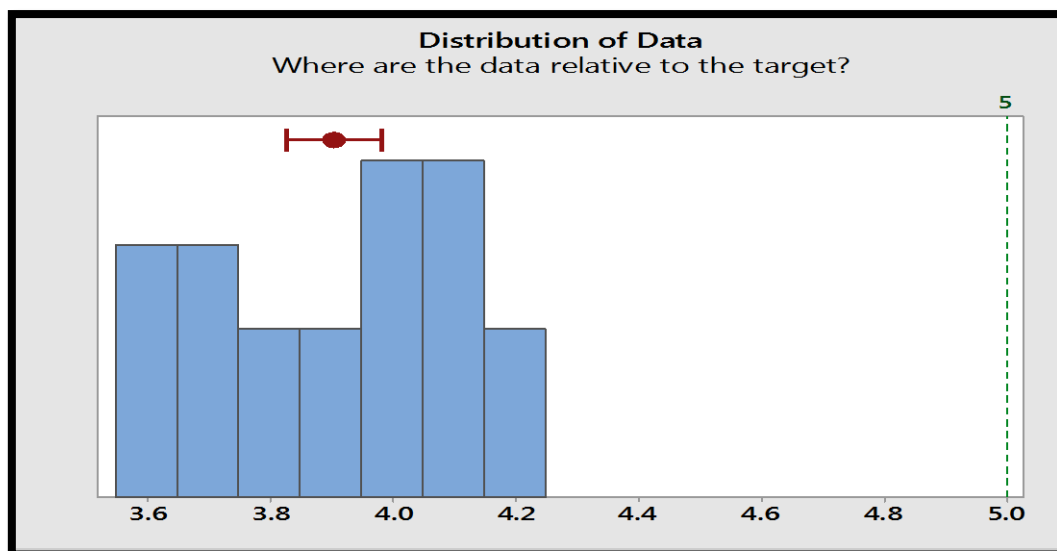


Figura 37: Distribución de los datos para la Temperatura media del Arreglo 3
Elaboración Propia

A partir del análisis se concluye que la media de las temperaturas obtenidas al enfriar leche cruda aplicando el sistema Ice Slurry Bank es menor a 5°C, con un nivel de significancia de 0.05; por tal al obtener un valor p de 0.001 se rechaza la hipótesis nula (H_0) y aceptando una de las hipótesis de investigación (H_1).

A su vez, los intervalos arrojan un intervalo de confianza de [3.8262; 3.9838], el cual se encuentra dentro del rango térmico adecuado para la refrigeración de la leche cruda (3 a 5 °C).

3. Análisis de costos en base a insumos indirectos y a consumo energético

Para el análisis se tomará como base el arreglo número 3 en el que la combinación de factores es 3% de NaCl con 15% de concentración de hielo, en un intercambiador de área de 4.8 m² con una relación de flujos en base al Balance de Materia y Energía usando agitación.

Sin embargo, en lo que concierne al factor de relación de flujos al momento para ese

arreglo es un aproximado 1.18; el cual sirve de base para determinar la cantidad de hielo requerido a producir. De esta forma, para esta evaluación considerando una eficiencia de generación de hielo del 80% (Apéndice 1), se determina que la cantidad a producir de hielo sigue un factor de 1.5 veces al flujo de la leche a enfriar.

3.1. Análisis por Facturación Eléctrica

Para este análisis se consideró la facturación eléctrica hecha en base al factor de calificación en hora punta que da la empresa distribuidora de energía de la zona (Anexo 6), así como los costos determinados para la tarifa que siguen los proveedores de la zona (Anexo 7).

3.1.1. Facturación Eléctrica para Ice Slurry Banks

De tal forma, analizada para una producción diaria de 5000 litros de leche repartida en 2 ordeños (Tabla 66) la facturación eléctrica para un Sistema Ice Slurry Banks viene a ser la siguiente:

Tabla 66

Porcentaje de Producción Diaria por Ordeño

Ordeño	Producción Diaria	5,000
Mañana	60%	3,000
Tarde	40%	2,000

Fuente: Apéndice 1

Tabla 67

Requerimiento de Ice Slurry para cada ordeño

Ordeño	Requerimiento de Ice Slurry
Mañana	4,500
Tarde	3,000
Total Diario	7,500

Tabla 68

Producción estimada de Ice Slurry generado para cada ordeño

Ordeño	Horas Disponibles	Horas Utilizadas	Producción Ice Slurry Kg/h	Ice Slurry Generado Kg
Mañana	7	7	482	3,374
Tarde	12	9	482	4,338
Total Diario	19	16	964	7,712

Tabla 69

Running Power para una producción de Ice Slurry en base a 3% d NaCl con 15% de concentración de hielo

Producción de Ice Slurry al 15% de Concentración de Hielo		Running Power (KW)		
Tn /24h	Tn /h	Equipo	Bomba	Equipo y bomba
11570	482	3.8	1.25	5.05

Con estos datos se hace el cálculo del factor de Calificación, el cual deberá ser menor a 0.5 para ser catalogado como fuera de punta.

$$FC = \frac{\text{Energía Activa en horas punta}}{\text{Demanda Máxima} \times \text{Factor de Medición} \times \text{Nº horas punta mensual}}$$

$$FC = \frac{0}{5.05 \times 1.025 \times 130} = 0 < 0.5$$

Al no tener consumo de energía activa en hora punta el factor de calificación para un

sistema Ice Slurry Banks es de 0, calificando, así como fuera de punta.

Para el cálculo de la facturación mensual un equipo Ice Slurry Banks, considerando 26 días de trabajo al mes se tendrá el siguiente consumo:

Tabla 70

Cálculo de Potencia de Generación y Distribución para Ice Slurry

Energía al día (KW-h)	Energía al mes (KW-h)	Potencia de Generación	Factor para Distribución	Potencia de Distribución
82.82	2,153.32	5.17625	1.05	5.4350625

Tabla 71

Facturación por energía y Potencia utilizada para Ice Slurry

Facturación	Costo por hora s/.	Facturación Mensual
Energía	S/ 0.18	S/ 396.86
Potencia por Distribuidora	S/ 11.89	S/ 64.62
Potencia por Generadora	S/ 25.02	S/ 129.51
Total	S/ 37.09	S/ 590.99

Tabla 72

Facturación por energía y Potencia utilizada mensual y anual para Ice Slurry

Facturación Eléctrica Mensual	Facturación Eléctrica Anual
S/590.99	S/7,091.87

3.1.2. Facturación Eléctrica para Panza Fría

De la misma forma que en el análisis para un Sistema Ice Slurry Banks, la facturación eléctrica para una Panza Fría viene a ser la siguiente analizada para una producción diaria de 5000 litros de leche (Tabla 66).

Tabla 73

Energía Activa en horas punta para una panza fría

Tiempo por ordeño tarde (h)	Potencia Nominal panza fría de 8000 L	Potencia Utilizada (80%)	Días del mes	Energía Activa en horas punta
3	19.6	15.68	26	1,223.04

Con estos datos se hace el cálculo del factor de Calificación, el cual deberá ser menor a 0.5 para ser calificado como fuera de punta.

$$FC = \frac{\text{Energía Activa en horas punta}}{\text{Demanda Máxima} \times \text{Factor de Medición} \times N^{\circ} \text{ horas punta mensual}}$$

$$FC = \frac{1223.04 \times 1.025}{15.68 \times 1.025 \times 130} = 0.615 > 0.5$$

De tal forma una panza fría que demora en enfriar el ordeño de la tarde a la temperatura requerida (4°C) obtiene un factor de calificación de 0.615, con el cual califica como presente en punta.

Por consiguiente, para el cálculo de la facturación mensual una panza fría tendrá el siguiente consumo:

Tabla 74

Cálculo de Potencia de Generación y Distribución para Panza Fría

Energía al día (KW-h)	Energía al mes (KW-h)	Potencia de Generación	Factor para Distribución	Potencia de Distribución
96.432	2507.232	16.072	1.05	16.8756

Tabla 75

Facturación por energía y Potencia utilizada para Panza Fría

Facturación	Costo por hora s/.	Facturación Mensual
Energía	S/ 0.23	S/ 567.14
Potencia por Distribuidora	S/ 11.94	S/ 201.49
Potencia por Generadora	S/ 50.67	S/ 814.37
Total	S/ 62.84	S/ 1,583.00

Tabla 76

Facturación por energía y Potencia utilizada mensual y anual para Panza Fría

Facturación Eléctrica Mensual	Facturación Eléctrica Anual
S/1,583.00	S/18,995.99

3.1.3. Facturación Eléctrica para Banco de Hielo

De la misma forma que en el análisis para un Sistema Ice Slurry Banks, la facturación eléctrica para un Banco de Hielo viene a ser la siguiente analizada para una producción diaria de 5,000 litros de leche (Tabla 66).

Tabla 77

Runnnng Power para el Banco de hielo requerido

Producción de Leche enfriada por Banco de hielo (kg/h)	Horas	Running power (KW)
3,000	7	5.9

Con estos datos se hace el cálculo del factor de Calificación, el cual deberá ser menor a 0.5 para ser calificado como fuera de punta.

$$FC = \frac{\text{Energía Activa en horas punta}}{\text{Demanda Máxima} \times \text{Factor de Medición} \times \text{Nº horas punta mensual}}$$

$$FC = \frac{0}{5.9 \times 1.025 \times 130} = 0 < 0.5$$

Al no tener consumo de energía activa en hora punta el factor de calificación para un banco de hielo es de 0, calificando, así como fuera de punta.

Para el cálculo de la facturación mensual un equipo Ice Banks tendrá el siguiente consumo:

Tabla 78

Cálculo de Potencia de Generación y Distribución para Banco de Hielo

Energía al día (KW-h)	Energía al mes (KW-h)	Potencia de Generación	Factor para Distribución	Potencia de Distribución
84.665	2,201.29	6.0475	1.05	6.349875

Tabla 79

Facturación por energía y Potencia utilizada para Banco de Hielo

Facturación	Costo por hora s/.	Facturación Mensual
Energía	S/ 0.18	S/ 405.70
Potencia por Distribuidora	S/ 11.89	S/ 75.50
Potencia por Generadora	S/ 25.02	S/ 151.31
Total	S/ 37.09	S/ 632.51

Tabla 80

Facturación por energía y Potencia utilizada mensual y anual para Panza Fría

Facturación Eléctrica Mensual	Facturación Eléctrica Anual
S/632.51	S/7,590.07

De forma resumida la facturación eléctrica para las 3 tecnologías viene a ser el mostrado en las Tabla 81.

Tabla 81

Facturación por energía y Potencia utilizada mensual y anual para Panza Fría

Máquina de frío	Facturación Eléctrica Mensual		Facturación Eléctrica Anual	
Ice Slurry Banks	S/	590.99	S/	7,091.87
Panza Fría	S/	1,583.00	S/	18,995.99
Banco de hielo	S/	632.51	S/	7,590.07

A partir de tales resultados se observa un ahorro en facturación eléctrica que se generaría por la aplicación de Ice Slurry Banks en el enfriamiento de leche cruda en tales condiciones frente a las otras tecnologías (Véase Tabla 82 y 83)

Tabla 82

Ahorro Ice Slurry Banks vs Panza Fría

Ahorro Mensual	Ahorro Anual
S/. 992.01	S/. 11,904.12

Tabla 83

Ahorro Ice Slurry Banks vs Banco de Hielo

Ahorro Mensual	Ahorro Anual
S/. 41.52	S/. 498.2

3.2.Análisis de Costos por Cantidad de Uso de Fluido Secundario

Para este apartado se evalúa la cantidad de agua interviniente en el proceso de enfriamiento, siendo esta un insumo indirecto ya que no forma parte del producto final.

De tal forma, en lo que concierne a la cantidad de fluido secundario utilizado para enfriar

leche cruda, se está basado el análisis en:

- La tarifa de agua para la zona (Anexo 8)
- El periodo en que se realiza el cambio del agua para hacer el mantenimiento de los equipos, semestral para el banco de hielo y anual para el Ice Slurry Banks (Apéndice 1)
- Y el mayor requerimiento de fluido secundario de acuerdo a la producción diaria.

En el caso del ice Slurry 4500 Litros, y 9900 litros para el banco de hielo.

El sistema Ice Slurry Banks presenta el siguiente costo tomando en cuenta el cambio anual de las salmueras en los tanques, ya que goza de ventaja al contar con más tanques de almacenamiento para la Salmuera; en el cual se puede ir alternando el mantenimiento de tal forma que no se bote la salmuera (Apéndice 1: “Entrevista a expertos”)

Tabla 84

Factor de flujos al utilizar Ice Slurry Banks en el enfriamiento de leche

Factor de Flujos	Volumen de leche (litros)	Volumen de Ice Slurry al 3% NaCl (litros)	Volumen Agua (litros)
1.5	3,000	4,500	4,365

Tabla 85

Costo por uso de agua al año al utilizar Ice Slurry Banks en el enfriamiento de leche

Volumen de Agua Ice Slurry (m^3)	Tarifa (S/. / m^3)	Total anual	Total Año
4.365	S/2.42	S/10.55	S/10.55

Mientras que, para un banco de hielo, de acuerdo a la cantidad de fluido secundario a usar para enfriar el mismo volumen de leche considerando las anteriores condiciones, se tiene el siguiente costo:

Tabla 86

Factor de flujos al utilizar un Banco de hielo en el enfriamiento de leche

Factor de Flujos	Volumen de leche (litros)	Volumen de Agua fría (Litros)
3.3	3,000	9,900

Tabla 87

Costo por uso de agua al año al utilizar un Banco de hielo en el enfriamiento de leche

Volumen de Ice Slurry (m^3)	Tarifa (S/. / m^3)	Total semestre	Total Año
9.9	S/2.42	S/23.93	S/47.86

De tal forma, se observa que el costo por uso de agua en el proceso de enfriamiento se reduce cuatro veces al utilizar el sistema de Ice Slurry Banks frente a los bancos de hielo.

4. Análisis Económico

Para realizar el análisis económico se tuvieron en cuenta los siguientes costos en base a las características y recursos necesarios por cada tecnología analizada (Apéndice 8):

- Maquinaria y equipos
- Insumos indirectos
- Mano de obra Directa

- Servicios

Posteriormente, a partir de la identificación de los recursos necesarios por tecnología enfriamiento, se realizó un análisis de ingresos (tomando en cuenta las ventas anuales y su bonificación en base a su calidad higiénica alcanzada) y egresos por cada tecnología estudiada (Ver Tablas 88, 89 y 90), en base a los cuadros del Apéndice 9.

Tabla 88

Análisis de Ingresos y Egresos para Panzas Frías.

Panza Fría	0	1	2	3	4	5
Ingresos	S/ 2,295,000.00	S/ 2,295,000.00	S/ 2,295,000.00	S/ 2,295,000.00	S/ 2,295,000.00	S/ 2,295,000.00
Remuneración MOD	-S/ 18,488.40	-S/ 18,488.40	-S/ 18,488.40	-S/ 18,488.40	-S/ 18,488.40	-S/ 18,488.40
Servicios	-S/ 18,995.99	-S/ 18,995.99	-S/ 18,995.99	-S/ 18,995.99	-S/ 18,995.99	-S/ 18,995.99
Insumos Indirectos	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Depreciación	-S/ 5,733.86	-S/ 5,733.86	-S/ 5,733.86	-S/ 5,733.86	-S/ 5,733.86	-S/ 5,733.86
Inversión en Maquinaria	S/ 57,338.63					
Utilidad Operacional	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75
Gasto Financiero	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Utilidad Antes de Impuestos	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75	S/ 2,251,781.75
Impuesto (30%)	-S/ 675,534.52	-S/ 675,534.52	-S/ 675,534.52	-S/ 675,534.52	-S/ 675,534.52	-S/ 675,534.52
Utilidad Neta	S/ 1,576,247.22	S/ 1,576,247.22	S/ 1,576,247.22	S/ 1,576,247.22	S/ 1,576,247.22	S/ 1,576,247.22

Tabla 89

Análisis de Ingresos y Egresos para Bancos de Hielo

Ice Banks	0	1	2	3	4	5
Ingresos	S/ 2,430,000.00	S/ 2,430,000.00	S/ 2,430,000.00	S/ 2,430,000.00	S/ 2,430,000.00	S/ 2,430,000.00
Remuneración MOD	-S/ 48,308.40	-S/ 48,308.40	-S/ 48,308.40	-S/ 48,308.40	-S/ 48,308.40	-S/ 48,308.40
Servicios	-S/ 7,698.84	-S/ 7,698.84	-S/ 7,698.84	-S/ 7,698.84	-S/ 7,698.84	-S/ 7,698.84
Insumos Indirectos	-S/ 47.86	-S/ 47.86	-S/ 47.86	-S/ 47.86	-S/ 47.86	-S/ 47.86
Depreciación	-S/ 10,880.41	-S/ 10,880.41	-S/ 10,880.41	-S/ 10,880.41	-S/ 10,880.41	-S/ 10,880.41
Inversión en Maquinaria	S/108,804.11					
Utilidad Operacional	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49
Gasto Financiero	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Utilidad Antes de Impuestos	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49	S/ 2,363,064.49
Impuesto (30%)	-S/ 708,919.35	-S/ 708,919.35	-S/ 708,919.35	-S/ 708,919.35	-S/ 708,919.35	-S/ 708,919.35
Utilidad Neta	S/ 1,654,145.14	S/ 1,654,145.14	S/ 1,654,145.14	S/ 1,654,145.14	S/ 1,654,145.14	S/ 1,654,145.14

Tabla 90

Análisis de Ingresos y Egresos para Ice Slurry

Ice Slurry	0	1	2	3	4	5
Ingresos	S/	2,430,000.00	S/	2,430,000.00	S/	2,430,000.00
Remuneración MOD	-S/	48,308.40	-S/	48,308.40	-S/	48,308.40
Servicios	-S/	7,146.25	-S/	7,146.25	-S/	7,146.25
Insumos						
Indirectos	-S/	42.95	-S/	42.95	-S/	42.95
Depreciación	-S/	9,009.22	-S/	9,009.22	-S/	9,009.22
Inversión en Maquinaria	S/	90,092.19				
Utilidad Operacional			S/		S/	
	S/	2,365,493.18	S/	2,365,493.18	S/	2,365,493.18
Gasto						
Financiero	S/	-	S/	-	S/	-
Utilidad Antes de Impuestos	S/	2,365,493.18	S/	2,365,493.18	S/	2,365,493.18
Impuesto (30%)	-S/	709,647.95	-S/	709,647.95	-S/	709,647.95
Utilidad Neta	S/	1,655,845.23	S/	1,655,845.23	S/	1,655,845.23

Tal y como se observa en las tablas anteriores, las utilidades en cuanto a la propuesta del sistema Ice Slurry Banks, son mayores en comparación con las Panzas Frías, manteniéndose de manera similar al sistema de Bancos de Hielo. Se sustenta así, la viabilidad económica de la propuesta.

5. Análisis de Calidad Higiénica

Los Análisis de Laboratorio de las muestras tomadas en Agroindustrial del Perú S.A.C, para el mejor arreglo seleccionado, arrojan los resultados mostrados en la Tabla 91.

Tabla 91

Des. Estándar y Temperaturas Promedio de la leche fría resultantes de la puesta en marcha de los experimentos del arreglo L8

Prueba	UFC/CC (1000000)	UFC/CC
1	0.01	10,000.00
2	0.02	20,000.00
3	0.06	60,000.00
4	0.02	20,000.00
5	0.02	20,000.00
6	0.02	20,000.00
7	0.03	30,000.00
8	0.04	40,000.00
9	0.02	20,000.00
10	0.01	10,000.00
11	0.01	10,000.00
12	0.01	10,000.00
13	0.049	49,000.00
14	0.055	55,000.00
15	0.045	45,000.00
16	0.041	41,000.00
17	0.034	34,000.00
18	0.033	33,000.00
19	0.035	35,000.00
20	0.016	16,000.00

La leche enfriada en promedio tiene una calidad higiénica de 28900 UFC/CC en condiciones de buenas prácticas de enfriamiento; plasmándose así en una calidad A++ (Ver Anexo 10: Informe de Ensayo de Calidad Higiénica).

6. Análisis de Indicadores

A fin de evaluar la productividad que reflejaría en el proceso el uso de Ice Slurry Banks, se le ha comparado con las otras tecnologías bajo ciertos indicadores.

- Volumen de leche enfriada/ Costos Energéticos (DIA)

$$\begin{aligned}
 ICE\ SLURRY\ BANKS &= \frac{5000\ l}{\frac{S/.590.99}{26\ días}} = 219.97 \frac{l\ dia}{soles} \\
 PANZAS\ FRÍAS &= \frac{5000\ l}{\frac{S/.1583}{26\ días}} = 82.12 \frac{l\ dia}{soles} \\
 ICE\ BANKS &= \frac{5000\ l}{\frac{S/.632.51}{26\ días}} = 205.53 \frac{l\ dia}{soles}
 \end{aligned}$$

- Producción (Volumen de leche) / energía. (DIAS)

$$\begin{aligned}
 ICE\ SLURRY\ BANKS &= \frac{5000l}{\frac{2153.32\ KW - h}{26\ días}} = 60.37 \frac{l\ dia}{KW - h} \\
 PANZAS\ FRIAS &= \frac{5000l}{\frac{2507.232\ KW - h}{26\ días}} = 51.85 \frac{l\ dia}{KW - h} \\
 ICE\ BANKS &= \frac{5000l}{\frac{2201.29\ KW - h}{26\ días}} = 59.06 \frac{l\ dia}{KW - h}
 \end{aligned}$$

- Productividad parcial de Insumo (producción total /cantidad de insumos)
(NaCl + Agua) (Calcular para cantidades anuales debido al uso de los insumos como el agua y la sal)

$$ICE\ SLURRY = \frac{5000\ l \times 1.029 \frac{kg}{l} \times 30 \times 12}{7712\ kg \times 1\ vez\ anual} = 233.4 \frac{kg\ de\ producto}{kg\ de\ insumo}$$

$$PANZAS\ FRIAS = NO\ APLICA$$

$$ICE\ BANKS = \frac{5000\ l \times 1.029 \frac{kg}{l} \times 30 \times 12}{5000kg \times 3 \times 2\ veces\ anual} = 61.74 \frac{kg\ de\ producto}{kg\ de\ insumo}$$

- Beneficio percibido: Calculado en base al precio base de la leche y a las bonificaciones y descuentos aplicados en base a su calidad microbiológica (Apéndice 1 y Tabla 9)

$$ICE\ SLURRY\ BANKS = 5000 \times S/.1.25 + 5000 \times S/.0.10 = S/.6,750.00$$

$$PANZAS\ FRIAS = 5000 \times S/.1.25 + 5000 \times S/.0.025 = S/. 6,375.00$$

$$ICE\ BANKS = 5000 \times S/.1.25 + 5000 \times S/.0.10 = S/. 6,750.00$$

- Beneficio percibido/costo de insumos (Diario)

$$\begin{aligned} ICE\ SLURRY &= \frac{5000l \times 1.029 \frac{kg}{l} \times (S/.1.25 + S/.0.10)}{S/.10.5 \times 1\ vez\ anual + 135\ Kg \times S/.0.24} \\ &= 161.9 \frac{soles\ ingresos}{soles\ costos} \end{aligned}$$

$$PANZAS\ FRIAS = NO\ APLICA$$

$$\begin{aligned} ICE\ BANKS &= \frac{5000l \times 1.029 \frac{kg}{l} \times (S/.1.25 + S/.0.10)}{S/.23.93 \times 2\ veces\ anual} = \frac{6945.75}{47.86} \\ &= 145.12 \frac{soles\ ingresos}{soles\ costos} \end{aligned}$$

- Volumen de leche enfriada/ tiempo.

$$ICE\ SLURRY\ BANKS = \frac{5000\ l}{2hr} = \frac{2500l}{1hr}$$

$$PANZAS\ FRIAS = \frac{5000l}{6hrs} = \frac{833.33l}{1hr}$$

$$ICE\ BANKS = \frac{5000\ l}{2hr} = \frac{2500l}{1hr}$$

- Volumen de leche/ Potencia Calorífica

Para el cálculo de este indicador tener en cuenta que la potencia nominal de una panza fría para una producción de 5000L es 13.6, sabiendo que el equipo trabaja a un 80% de su capacidad es conveniente el uso de una con capacidad de 8000L (19.6Kw nominal) ya que al trabajar a un 80% de su capacidad la potencia calorífica real es de 15.68, permitiéndonos una holgura para el correcto enfriamiento de posibles cantidades mayores de producto.

$$ICE\ SLURRY\ BANKS = \frac{5000l}{3.8Kw} = 1315.79 \frac{l}{Kw}$$

$$PANZAS\ FRIAS = \frac{5000l}{15.68Kw} = 318.88 \frac{l}{Kw}$$

$$ICE\ BANKS = \frac{5000\ l}{5.9Kw} = 847.46 \frac{l}{Kw}$$

- Razón de flujos intercambiados

$$ICE\ SLURRY\ BANKS = \frac{1.5Litro\ ICE\ SLURRY}{1Litro\ de\ leche} = 1.5\ veces$$

$$PANZAS\ FRIAS = NO\ APLICA$$

$$ICE\ BANKS = \frac{3Litro\ de\ agua\ enfriada}{1Litro\ de\ leche} = 3\ veces$$

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES.

- Sí es posible aplicar Ice Slurry como fluido secundario para el enfriamiento de leche cruda a una temperatura objetivo dentro del rango de 3 a 5°C, en un sistema con intercambiadores de calor para la mejora de la efectividad del proceso en proveedores y cales en la industria láctea.
- La combinación de factores con mejores resultados, realizados según el diseño experimental con arreglos ortogonales, fue la de 3% de concentración de NaCl con 15% de concentración de hielo, pasando en el intercambio de calor con la leche a una proporción de flujos en base al Balance de Materia y Energía junto a una buena agitación del fluido secundario almacenado.
- De tal combinación de factores la concentración del aditivo, porcentaje de hielo y proporción de flujos son aplicables a cualquier situación basando los cálculos en base a las necesidades de producción y a una adecuada selección del intercambiador de calor.
- La proporción de los flujos entre el fluido secundario y la leche tiene gran influencia en los costos de insumos y de facturación energética. Tal proporción debe estar dada en base a un cálculo de Balance de materia y energía, sin embargo, una proporción de 1.5 veces entre el volumen de Ice Slurry y el de la leche nos resultó un factor de seguridad que permite el enfriamiento de la leche muy cercano a la temperatura objetivo de acuerdo a las características de diseño del intercambiador de calor y a una buena agitación del fluido secundario almacenado. Siendo aproximadamente la mitad, la cantidad de fluido secundario a utilizarse en el intercambio de calor comparado con el

sistema de Bancos de hielo, el cual su proporción es de 3 veces entre el volumen de agua enfriada y leche cruda.

- Ice Slurry Banks se presenta como una buena alternativa para el reemplazo de las panzas frías, trayendo beneficios en lo que concierne productividad, costos y calidad de la leche, los cuales se reflejan en las utilidades que se podrían generar de acuerdo al análisis económico.
- Comparada frente a los sistemas de Bancos de Hielo, Ice Slurry Banks viene a ser una alternativa que compite con costos similares, aunque trayendo ventaja en ahorro en facturación eléctrica anual siendo el costo para Bancos de Hielo 7,590.07 soles y para Ice Slurry Banks 7,091.87 soles. Tal ventaja sigue esta tendencia con mayores volúmenes de producción y se refleja en los beneficios percibidos mostrados en el análisis económico.
- Al trabajarse bajo buenas prácticas de manipulación de la leche y enfriamiento con Ice Slurry Banks y Bancos de hielo se puede tener una calidad óptima de la leche luego del ordeño, siendo mucho mejor que la calidad obtenida por las panzas frías debido al factor de menor tiempo del proceso de enfriamiento. Consiguiendo una calidad higiénica promedio de 28,900.00 UFC/cc significando una calificación de A++ (0 – 50,000 UFC/mL de leche).

2. RECOMENDACIONES.

- Al ser la concentración de hielo el factor clave para la reducción de uso de fluido secundario y por tal de los costos se debe ampliar en las investigaciones para ver hasta qué punto es posible aumentar tal parámetro para conseguir una mayor reducción en costos por facturación de consumo eléctrico al trabajar con Ice Slurry que cuente con concentraciones de hielo mayores.
- Se recomienda realizar investigaciones en donde se utilice bombas de lóbulos o

tornillo para hacer fluir el Ice Slurry, y evaluar el beneficio costo de utilizar tales bombas en el intercambio de calor ya que podría generarse un mayor ahorro en facturación energética al tener que enfriar menor fluido secundario y permitir el trabajo con mayores concentraciones de hielo que las bombas centrífugas.

- Para los tanques de almacenamiento se debe tener un sistema de agitación eficiente, considerar hacer investigaciones en el diseño de este para distintos tamaños de tanques.
- Al lograrse conseguir que la cantidad fluido secundario a utilizarse en el intercambio de calor por Ice Slurry frente a los Bancos de hielo, se recomienda ahondar más en cuál será el aporte de la tecnología en el ahorro de recursos para el medio ambiente.
- Realizar investigaciones con otros tipos de lácteos, como son leche concentrada, evaporada y derivados.
- Debido a la naturaleza de nuestra investigación solo se ha evaluado de forma no tan profunda lo que concierne a un estudio de la inversión, si se desea tener un conocimiento más extenso sobre esta, se recomienda realizar a futuro un proyecto de inversión y evaluar la factibilidad de la implementación de la tecnología en una organización o contexto específico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Archila López, C. P., & Solórzano Beltrán, M. F. (2008). *Diseño y construcción de un Dispositivo de Almacenamiento Térmico "banco de hielo por serpentín" para procesos de alimentos industriales y agroindustriales* (tesis de Pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.
2. Aguiló, R. R. (2000). Comparación de sistemas de refrigeración, ventajas, desventajas, impacto ambiental.
3. Alais, C. (1985). *Ciencia de la leche: principios de técnica lechera*. Reverté.
4. Alderetes, C., & Maiocchi, M. (2001). *Intercambiadores de Calor de Placas, Cálculo y selección de equipos*. Buenos Aires, Argentina.
5. Alibaba. (2019). *Todas las industrias, Maquinaria*. Obtenido de Aliababa.com: <https://spanish.alibaba.com/>
6. ATTP Leal. (2008). Tabla de Viscosidades. Recuperado el 2017 de Abril de 2017, de Aplicaciones Técnicas de Procesos Productivos (ATTP): http://www.fmed.uba.ar/depto/tec_dieto/t2014.pdf
7. Alzate, C. E. O. (2003). Procesamiento de alimentos. Univ. Nacional de Colombia.
8. Amazon. (2019). Todos los departamentos. Obtenido de www.amazon.es: <https://www.amazon.es>
9. BAC. (s.f.). *Almacenamiento térmico del hielo*. Obtenido de Baltimore Aircoil Company: <https://www.baltimoreaircoil.eu/es/productos/acumulaci%C3%B3n-de-hielo>

10. Barrera Rodríguez, F. D. (2014) *Propuesta didáctica utilizando la química de la leche como tema orientador, para motivar el aprendizaje de conceptos físico químicos de la materia* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia.

11. Bartolomé Rodríguez, D. J., Posado Ferreras, R., García García, J., Bodas Rodríguez, R., Fonseca Rodríguez, B., Tabernero de Paz Risueño, M. J., & Río Briones, G. (2011). *Manual de Buenas prácticas de ahorro y eficiencia energética en explotaciones de vacuno lechero*. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León.

12. Bellas J., Chaer I., Tassou S.A. (2002) *Heat transfer and pressure drop of ice slurries in plate heat exchangers*. Applied Thermal Engineering 22, pp. 721-732.

13. Brousett-Minaya, Magaly, Torres Jiménez, Ana, Chambi Rodríguez, Alex, Mamani Villalba, Bethy, & Gutiérrez Samata, Hernán. (2015). Calidad fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de leche cruda en las cuencas ganaderas de la región Puno -Perú. *Scientia Agropecuaria*, 6(3), pp.165-176. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172015000300003&script=sci_arttext

14. Buco Ice Bank. (2018). *Banco de hielo Industrial*. Obtenido de Zelsio Equipamiento Industrial: <http://www.refrigeracionzelsio.es/maquinas-de-hielo/1657-buco-ice-bank.html>

15. Çengel, Y. A., Boles, M. A., & Cázares, G. N. (2006). *Termodinámica* (No. QC311 C4 1996.). McGraw-Hill.

16. Cengel, Y. A. (2007) *Transferencia De Calor Y Masa: Un Enfoque Práctico*/Yuns A. Cengel; Rev. Sofía Faddeera (No. TJ260. C38 2007.).

17. Egold ,P. (2004). *Technical Note on Refrigerating Technologies, Ice Slurry: A Promising Technology*. International Institute of Refrigeration. Recuperado de: http://www.iifiir.org/userfiles/file/webfiles/in-depth_files/Ice_slurry_EN.pdf

18. España, Ministerio De Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (s.f). *Hojas Divulgadoras, La Refrigeración de la Leche*. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1975_04-05.pdf

19. Frei B., Huber H. (2005) Characteristics of different pump types operating with ice slurry. *International Journal of Refrigeration* 28, pp. 92-97.

20. Gómez, F. I. (2008). *Caracterización experimental del comportamiento termo-hidráulico del hielo líquido generado a partir de disoluciones de NaCl: aplicación a cambiadores de calor* (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Cartagena.

21. Gómez García, A. (2008). *Modelo de cálculo para el análisis térmico y mecánico de intercambiadores de placas*. Cartagena, Colombia.

22. Gonzales Núñez, E. R. (2007). *Estudio Comparativo de los Intercambiadores de Calor de tubos-coraza y los de placas planas (tesis de Pregrado)*. Universidad Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

23. Grozdek, M. (2009). *Load Shifting and Storage of Cooling Energy through Ice Bank or Ice Slurry Systems: modelling and experimental analysis (tesis de Doctorado)*. Royal Institute of Tecnology, Estocolmo, Suecia.

24. Guanipa, G. (2010). *Sistemas de Refrigeración (Unidad curricular electiva III)*. Universidad Nacional Experimental Francisco Miranda, Falcón, Venezuela. .
 Recuperado el 13 de Abril de 2017

de:<https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2009/02/guia-tecnica-electiva1.pdf>.

25. FAO. (2018). *Calidad y Evaluación*. Obtenido de Portal Lácteo- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura: <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/calidad-y-evaluacion/es/>
26. Hayes, G. D. (1992). *Manual de datos para ingeniería de los alimentos*. Acribia.
27. Hayes P.R. (1993). *Microbiología e higiene de los alimentos*. Zaragoza: Editorial Acribia S.A.
28. Heimlich, W., & Carrillo, B. (1995). Manual para centros de acopio de leche. *Producción, operación, aseguramiento de calidad y gestión. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Universidad Austral de Chile. Egall-Master Print Ltda.*
29. Hernandez Benedi, J. (1975). *La Refrigeración de la Leche*. (No. Folleto 5410).
30. Hernández, G., & Rojas Carmona, E. (2009). *Análisis de Cálculo, Diseño y Mantenimiento de una Cámara de Refrigeración utilizado en Productos Perecederos a 4°C (tesis de pregrado)*. Instituto Politécnico Nacional, México.
31. IAASE. (21 de Noviembre de 2016). *Diferencias entre Chiller enfriado por Agua y Chiller enfriado por Aire*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de IAASE: <http://www.iaase.com.mx/diferencias-entre-chiller-enfriado-por-agua-y-chiller-enfriado-por-aire-en-los-sistemas-de-aire-acondicionado/>
32. IDF/FIL (2000). Payment Systems for Ex-Farm Milk, Result of IDF Questionary. Bulletin of the International Dairy Federation. pp. 3 y 4.

33. Hazard, S., & Christen, M. (2006). *Calidad higiénica de la Leche*.
34. Illán Gómez, F., & Viedma Robles, A. (2010). *Using ice slurry as secondary refrigerant for charge reduction in industrial facilities*.
35. Kauffeld M, Kawaji M, Egolf PW (2005) *Handbook on Ice Slurries – Fundamentals and Engineering*. Paris: IIF/IIR.
36. Kauffeld, M., Wang, M. J., Goldstein, V., & Kasza, K. E. (2010). *ICE SLURRY APPLICATIONS*. International Journal of Refrigeration / International Institute of Refrigeration, 33(8), 1491–1505. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3081589/>
37. Kumano, H., Asaoka, T., Saito, A., & Okawa, S. (2007). Study on latent heat of fusion of ice in aqueous solutions. *International journal of refrigeration*, 30(2), 267-273.
38. López Ruiz, A. L., & Barriga Velo, D. (2016). La leche, composición y características. (P. A. Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Ed.) *Tecnología de Postcosecha. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.*, 34.
39. Liu, S., Hao, L., Rao, Z., & Zhang, X. (2017). Experimental study on crystallization process and prediction for the latent heat of ice slurry generation based sodium chloride solution. *Applied Energy*, 185, 1948-1953.

40. Magariños, H. (2000). *Producción higiénica de la leche cruda; una guía para la pequeña y mediana empresa* (No. 637.1 M188). Organización de los Estados Americanos, Mixco (Guatemala) GTZ, Guatemala (Guatemala).
41. Mansilla F.E. (2014). *Evaluación De La Conservación De Carne De Salmón Atlántico Almacenado En “Hielo Líquido” Y “Hielo Escama”: Modificación De Textura Y Color De La Carne*. (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile.
42. Marcelin-Rodriguez, M. & Velez-Ruiz, J. (2012) “*Proceso de elaboración y propiedades fisicoquímicas de las leches condensada, azucarada y evaporada*”, Temas Selectos de Ingenieria de Alimentos 6(1), 13-28. Recuperado de: [http://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6\(1\)-Marcelin-Rodriguez-et-al-2012.pdf](http://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6(1)-Marcelin-Rodriguez-et-al-2012.pdf)
43. McCarthy O. & Singh, H. (2009). *Advanced Dairy Chemistry* (3ra. ed.) (Vol. 3, pp. 691-758) Cork. Ireland.
44. Meewisse,J., Infante,C. (2001) , “*Freezing point depression of various Ice Slurries*”. Recuperado el 27 de Mayo de 2017 de https://www.researchgate.net/publication/237564003_FREEZING_POINT_DEPRESSION_OF_VARIOUS_ICE_SLURRIES
45. Meili, F., Sari, O., Vuarnoz, D., & Egolf, P. W. (2001). Storage and mixing of ice slurries in tanks. *In Third Workshop on Ice Slurries of the International Institute of Refrigeration IIF/IIR*, pp. 97-104.
46. Melinder, A. (2004). “Using property values of aqueous solutions and ice to estimate ice concentrations and enthalpies of ice slurries.”. *International Journal of*

Refrigeration (28). Recuperado el 27 de Junio de 2017 de https://www.researchgate.net/publication/223168473_Using_property_values_of_aqueous_solutions_and_ice_to_estimate_ice_concentrations_and_enthalpies_of_ice_slurries

47. Melinder, A. (2007) “*Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids*” (Tesis doctoral) Dept of Energy Technology School of Industrial Engineering and management Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden.
48. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Diciembre de 2015). *Cadenas Logísticas 2014*. Recuperado el 13 de Abril de 2017, de Ministerio de Transportes y Comunicaciones:
https://www.mtc.gob.pe/estadisticas/publicaciones/cadenas/Cadenas_Logisticas_2014.pdf
49. Minagri. (sf). *Calidad de leche*. Obtenido de <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/organizaciones/dgpa/documentos/queso.pdf>
50. Minagri. (2007). *Leche Cruda: Requisitos*. Obtenido de *Porta del Ministerio de Agricultura del Perú*. Obtenido de http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/normatividad-lacteos/Normas_Andinas/PNA_Lече_Cruda_16003.pdf

51. Molina Ramírez, E., & Calderón Horta, A. (1985). *Conservación de la leche* (No. Doc. 8977)* CO-BAC, Santafé de Bogotá).
52. Moncada Albitres, L. (2006). *“Diseño de plantas de Procesos Químicos” Intercambiadores de Calor*. Trujillo, Perú.
53. Montero, R. D., Seara, J. F., & Térmicos, M. (2016). *Estudios sobre el comportamiento fluido-dinámico y térmico del hielo líquido en procesos de intercambio de calor* (Tesis Doctoral, Universidad de Vigo).
54. Norma Técnica Peruana - NTP 202.001. 2003. *Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales* – INDECOPI. Lima, Perú.
55. Molina, E., & Calderon, A. (1985). *Conservación de la leche. Cartilla 4*.
56. Morales Ramírez C.G. (2013). *Análisis numérico de tres diferentes tipos de intercambiadores de calor de placas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma, México.
57. Nørgaard E., Sørensen T.A., Hansen T.M, Kauffeld M. (2005) Performance of components of ice slurry systems: pumps, plate heat exchangers, and fittings. *International Journal of Refrigeration* 28, pp. 83-91.
58. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1981). *Manual de composición y Propiedades e la leche*. Equipo Regional de Desarrollo y Capacitación en Lechería de FAO para América Latina. Santiago, Chile.

59. Orrego Alzate, C. (2003) Procesamiento de Alimentos. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9053/1/958932280.pdf>.
60. Packo. (2018). *Tecnología de Enfriamiento, pensada en la necesidad del productor de leche moderno*. Obtenido de Packo Cooling: <http://www.packocooling.com/milkcooling/datasheets-es/folleto-tecnologia-de-enfriamiento.pdf>
61. Pinto, M.; Carrillo, B.; Vidal, C. (2002). *Clasificación de leche por calidad con fines de pago al productor. Los esquemas de pago en Chile*. En: I Seminario nacional sobre calidad e inocuidad de la leche y sus derivados. Universidad Simón Bolívar. México. pp. 1-10.
62. Pinuer, L. (2008). *Estudio de Caso de la Evaluación de un Programa de Aseguramiento de la Calidad Higiénica de la Leche aplicado en Centros de Acopio: un análisis general a partir de la norma ISO 9000:2000 (tesis de Pregrado)*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
63. Quiminet. (2011 de Diciembre de 2011). *Bancos de hielo, funcionamiento y ventajas*. Obtenido de Quiminet: <https://www.quiminet.com/articulos/bancos-de-hielo-funcionamiento-y-ventajas-2652889.htm>
64. Ramos, A. C. (1994). Calidad de la leche en la granja. Obtención y mantenimiento. *MG Mundo ganadero*, (3), 34-45.
65. Rivadeneira Candell, A., Simon, G., & Verdezoto, C. (1993). Producción de leche y derivados en fincas ganaderas del canton El Carmen, provincia de Manabi, Ecuador. Quito. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=-LEzAQAAMAAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

66. Salvador Escosa S.A. (s/f). Tarifa de precios intercambiadores de calor. Obtenido de www.salvadorescoda.com: <https://www.salvadorescoda.com/tarifas/>
67. Sánchez Recarte, I., Torres de María, G., Abril Requena, J., & Casp Vanaclocha, A. (2002). Determinación de las propiedades de un hielo líquido formado a partir de agua y NaCl. Estudio Teórico-Experimental. *In Actas del II Congreso Español de Ingeniería de Alimentos CESIA*.
68. Shire G.S.F., Quarini G.L., Evans T.S. (2009) . Pressure drop of flowing ice slurries in industrial heat exchangers. *Applied Thermal Engineering* 29, pp. 1500-1506.
69. Skychillers. (2015). *¿Qué es un chiller?* Recuperado el 20 de Abril de 2017, de Preguntas frecuente, Skychillers: <http://skychiller.com/que-es-un-chiller.php>
70. Solid, O. P. D. (2010). Tecnología Productiva en Lácteos. Calidad de la leche.
71. Soto Fernández, G. (1996). *El método Taguchi en diseños experimentales*.
72. Soto, R. (2011). *Bancos de hielo*. Recuperado el 08 de Abril de 2017, de Foro Mantenimiento Industrial: <http://foromantenimientoindustrial.blogspot.pe/2011/09/bancos-de-hielo-por-renato-soto.html>
73. The Dow Chemical Company, (2003) “A Guide to Glycols”. Recuperado el 27 de Junio de 2016 de:

http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_091b/0901b8038091b508.pdf?filepath=pro

74. Vargas, I. (2004). *Determinación de la Variación de Algunas Propiedades Físicas en Leche Cruda de las Regiones Octava, Novena y Décima* (tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fav297d/doc/fav297d.pdf>
75. Walstra *et al.* (2006); Farkye y Ur-Rchman (2011) citados en Marcelin-Rodriguez, M. & Velez-Ruiz, J. (2012)
76. Zavala Pope, J. M. (2005). *Aspectos Nutricionales y Tecnológicos de la Leche*. Recuperado el 07 de Abril de 2017, de Dirección General de Promoción Agraria del Ministerio de Agricultura y Promoción de Crianzas: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/7AE7E7AB111562710525797D00789424/\\$FILE/Aspectosnutricionalesytecnol%C3%B3gicosdelaleche.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/7AE7E7AB111562710525797D00789424/$FILE/Aspectosnutricionalesytecnol%C3%B3gicosdelaleche.pdf)

ANEXOS

ANEXO 1: Método Para La Selección Del Intercambiador Propuesto Por Moncada Albitres

El procedimiento de diseño propuesto por Moncada Albitres se aplica al problema típico en el que un fluido caliente se debe enfriar desde una temperatura inicial (T_1) a una temperatura final (T_2), para lo cual se dispone de un fluido frío.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Cálculo y determinación de la carga de calor: Q

$$Q = m C_p (T_1 - T_2)$$
2. Determinación de la temperatura de salida del fluido frío (t_2)

$$t_2 = t_1 - Q/(m C_p)$$
3. Determina las propiedades físicas de los fluidos a su respectiva temperatura media.
4. Determinar el tipo de intercambiador.
5. Fijar por cada fluido las resistencias a la incrustación.
6. Calcular de la temperatura media logarítmica o DTML.
7. Determinar el número de placas térmicas N_p para cada fluido, en el caso de la selección de un intercambiador tomar en base al número de placas detallado en su ficha técnica o placa del intercambiador.
8. Cálculo del número de canales totales (N_{ct}) y número de canales (N_c)

$$N_{ct} \text{ (Número de canales totales)} = N \text{ de placas} + 1$$

$$N_c = \frac{N_{ct}}{2}$$

9. Cálculo del Área de flujo total (A_f) provisional requerido para cada fluido.

$$A_f \text{ (Área del flujo Total)} = \text{Ancho de la placa} * \text{espesor} * N_c$$

10. Calcular la velocidad másica del fluido (GW)

$$GW(\text{velocidad de masa del fluido}) = \frac{\text{densidad} \times \text{flujo Masa del flujo}}{Af}$$

$$= \frac{\frac{kg}{m^3}}{\frac{s}{m^2}}$$

11. Calcular el Número de Reynolds, donde la longitud característica es el doble de la profundidad o distancia entre placas de un intercambiador PHE.

$$Re = \frac{GW * LC}{\mu} = \frac{GW \left(\frac{KG}{m^2 seg} \right) \times \text{Longitud Caracteristica (m)}}{\text{viscosidad} \left(\frac{kg}{m s} \right)}$$

12. Calcular el Número de Prant, con las propiedades de cada fluido.

$$Pr = \frac{\text{viscosidad} \left(\frac{Kg}{m s} \right) \times cp \left(\frac{Joule}{Kg ^\circ C} \right)}{\text{Conductividad T.} \left(\frac{Watt}{m ^\circ C} \right)}$$

13. Calcular el número de Nusselt en base a los valores de Re y Pr, y los valores de la tabla para las constantes de Kumar. En donde “C” y “y” son coeficientes de Kumar que dependen del ángulo de inclinación de las acanaladuras de la placa (β) y del régimen de flujo.

$$Nu = C \times Re^y \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

14. Calcular el coeficiente de convección de película del fluido caliente y del fluido frío

$$Hcfuido = \frac{Nu \times k}{LC} = \frac{Watt}{m^2 \times ^\circ C}$$

**CONSTANTES DE KUMAR (1984) PARA TRANSFERENCIA DE CALOR Y
PÉRDIDAS DE PRESIÓN**

Chevron Angle β	Reynolds	C_h	y	Reynolds	K_p	z
≤ 30	≤ 10	0.718	0.349	< 10	50	1
	> 10	0.348	0.663	10-100	19.4	0.589
				> 100	2.99	0.183
45	< 10	0.718	0.349	< 15	47	1
	10-100	0.4	0.598	15-300	18.29	0.652
	> 100	0.3	0.663	> 300	1.441	0.206
50	< 20	0.63	0.333	< 20	34	1
	20-300	0.291	0.591	20-300	11.25	0.631
	> 300	0.13	0.732	> 300	0.772	0.161
60	< 20	0.562	0.326	< 40	24	1
	20-400	0.306	0.529	40-400	3.24	0.457
	> 400	0.108	0.703	> 400	0.76	0.215
≥ 65	< 20	0.562	0.326	< 50	24	1
	20-500	0.331	0.503	50-500	2.8	0.451
	> 500	0.087	0.718	> 500	0.639	0.213

Fuente: Bejan, Heat Transfer Handbook (12)

15. Calcular el coeficiente Global de Transferencia de calor, considerando el S_p como el espesor de la placa y el K_{ac} como la conductividad térmica del material de las placas (Acero 316 para el presente caso); y r_A y r_B como la resistencia al ensuciamiento para la leche y el fluido (h_A y h_B) utilizado para el enfriamiento respectivamente.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_A} + r_A + \frac{S_p}{K_{ac}} + r_B + \frac{1}{h_B}$$

16. Calcular el Área de Transferencia de calor y seleccionar un intercambiador que cuente con tal característica.

ANEXO 2: Características Técnicas De Los Intercambiadores De Placas Existentes En El Mercado

Tabla 92

Características de los Intercambiadores de placas

Características del Intercambiador	Valor Promedio en el mercado
Máxima presión operacional	25-30 (bar)
Máxima temperatura operacional	160-200 (°C)
Máximo flujo volumétrico	3,600 (m ³ /h)
Coeficiente de transferencia de calor	3,000-7,500 (W/m ² *°C)
Área de transferencia de calor	0.1-2200 (m ²)
Diámetro máximo de entrada o salida de flujo	0.45 (m)
Eficiencia máxima de transferencia de calor	93%

Fuente: Morales Ramírez C.G. (2013). Análisis numérico de tres diferentes tipos de intercambiadores de calor de placas (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma, México.

Tabla 93

Condiciones de Termo transferencia y Fluidodinámicas en Intercambiadores de Placas

Condiciones de Termo transferencia y Fluidodinámicas en Intercambiadores de Placas	Valor Promedio en el mercado
Flujo másico por unidad	0.13 a 800 Kg/sec (referencia con flujo de agua)
Presión de trabajo	vacío a 30 bar(máximo)
Temperatura de trabajo (PHE)	-40°C a 180°C
Temperatura de trabajo (BHE)	-195°C a 225°C
Coeficiente total de Transferencia de Calor	3,500 a 7,000 Kcal/hm ² °C (agua-agua)
Coeficiente total de Transferencia de Calor	800 a 2,800 Kcal/hm ² °C (soluciones acuosas-agua)
Coeficiente total de Transferencia de Calor	300 a 800 Kcal/hm ² °C (agua - aceite)

Fuente: Alderetes, C., & Maiocchi, M. (2001). Intercambiadores de Calor de Placas, Cálculo y selección de equipos. Buenos Aires, Argentina.

Tabla 94


Dimensiones Típicas de los Intercambiadores de Calor de Placas

Dimensiones de los Intercambiadores de Calor	Valores Promedio en el mercado
Espesores de placas	0.5 a 1.2 mm
Área de Intercambio por placa	0.032 a 3.4 m ²
Área de Intercambio por unidad	0.1 a 2200 m ²
Espaciado entre los canales	1.6 a 5.5 mm
Ancho de las placas	0.2 a 1.5 m
Alto de las placas	0.5 a 3 m
Dimensiones de las conexiones	1" a 18"
Tipos de Conexiones	Roscadas, soket, bridadas o Victaulic
Tipos de Materiales de las placas	- Aceros inoxidables austeníticos, tipo AISI 304, 316, 318, 312 (aplicaciones generales) - Titanio, Titanio Paladio, Niquel, Hasteloy

Fuente: Alderetes, C., & Maiocchi, M. (2001). Intercambiadores de Calor de Placas, Cálculo y selección de equipos. Buenos Aires, Argentina.

ANEXO 3: Slurry Ice Machine Operation Instruction

5. Electrical system maintenance

 Warning!	
■	Before maintaining, please do cut off the power supply, avoiding electric shock, etc.
■	During cleaning, please do not splash the water to the electrical components.
■	Should not use wet cloth to clean the electrical component, avoiding electric shock and creepage.
■	Only start up the machine when it is dry.

6. brine concentration requirement

The evaporating temperature and ice slurry temperature would be affected by the brine solution concentration. For ensuring equipment normal running, the range of Baume degree should be : 4~5. When the Baume degree is more than 7, the ice output would be obviously reduced.

Slurry ice machine operation instruction--2011

16

Trouble shooting

Fault	Reasons	Treatment
Ice scraper fault	1. saline concentration too low 2. Belt too tight 3. motor damaged	1. Add salt moderately. Brine Baume degree should be no lower than 2. 2. adjust the connecting bolt between motor and ice maker, to adjust the belt. 3. Check whether the motor wire connection is normal.

ANEXO 4: Lista de Parámetros de Máquinas de Hielo Líquido Snowell

Model	Running power (Kw)	Solid ice (T/day)	50% (T/day)	25% (T/day)	Cooling capacity (kw)	Dimensión L*W*H(mm)
SL2T	3.8	2	4	7.2	10.55	1800*700*760
SL4T	7.5	4	7	16	21.1	1140*460*1730
SL8T	13.8	8	14	32	42.2	1140*940*1730
SL12T	18.9	12	21	48	63.3	1140*1360*1730
SL16T	27.5	16	28	64	84.4	1140*1840*1730
SL20T	30	20	35	80	105.5	customized
SL30T	37	30	56	115	160	customized
SL40T	56	40	70	160	211	customized
SL60T	85	60	112	230	300	customized
SL80T	110	80	140	320	422	customized
SL120T	170	120	224	480	633	customized
SL160T	220	160	280	640	844	customized
SL200T	300	200	350	800	1055	customized

Fuente:

https://snowell.en.alibaba.com/product/793053237218257450/Slurry_ice_machine_for_fishing_processing_plant.html

ANEXO 5: Metodología Arreglos Ortogonales

Los arreglos ortogonales según su enfoque en ingeniería de la calidad se han usado con el objeto de optimización del diseño del proceso/producto con una mínima sensibilidad al ruido.

Un arreglo Ortogonal es una matriz de número distribuidos en filas y en columnas. Cada fila representa el nivel de los factores en un experimento dado y cada columna representa el factor o condición específica que puede ser cambiada de un experimento dado. De esta forma desarrolló un número de arreglos ortogonales particulares los cuales denominó **La(b)c**.

La(b)c	
L	Indica que es un arreglo ortogonal
a	Número de pruebas o condiciones experimentales que se tomarán
b	Niveles a los que se tomará cada factor
c	Número de efectos independientes que se pueden analizar, esto es el número de columnas.

Fuente: Soto Fernández, G. (1996). El método Taguchi en diseños experimentales.

Los arreglos pueden tener factores con varios niveles, aunque los factores con dos o tres niveles son los más comunes. Un arreglo L8(2)7, por ejemplo; puede manejar siete factores a dos niveles cada uno, bajo ocho condiciones experimentales.

De tal forma un arreglo L8(2) 7 viene a ser mostrado de acuerdo a la siguiente matriz.

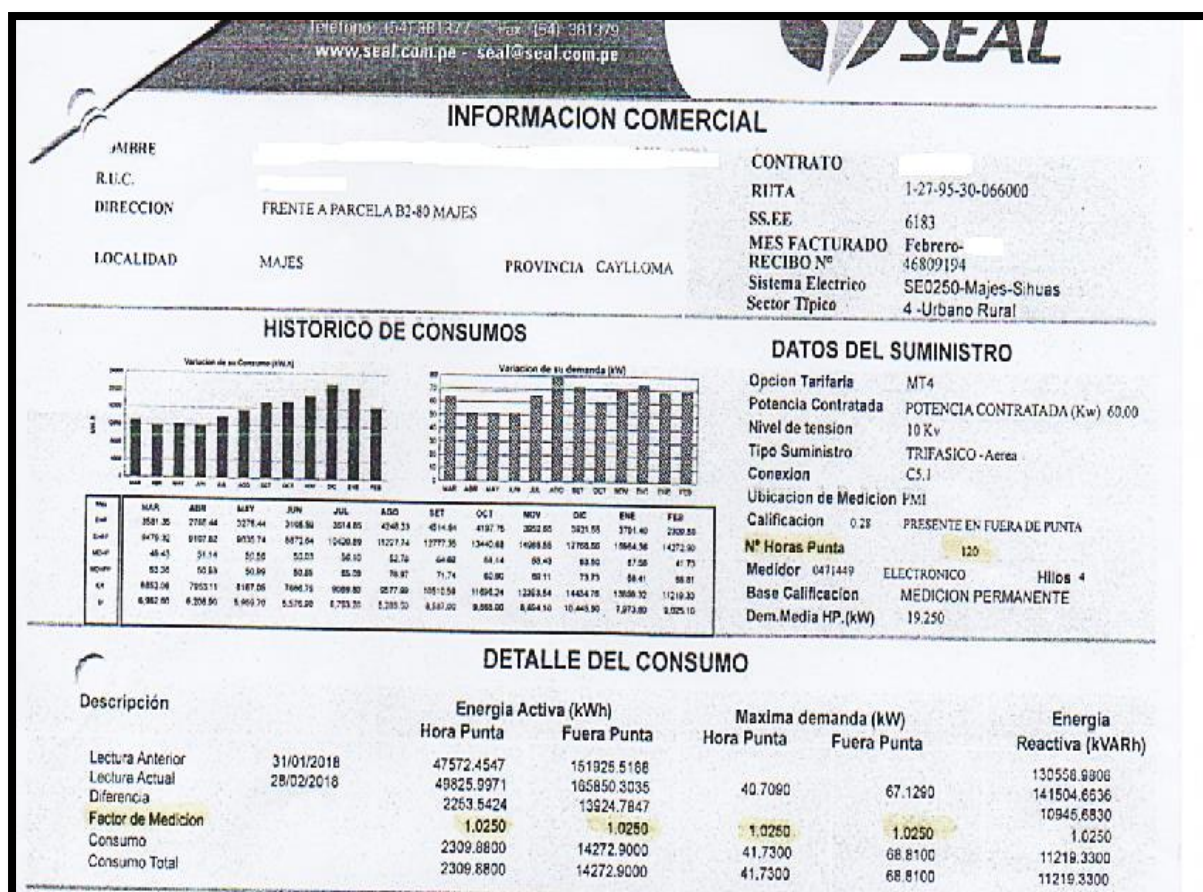
	1	2	3	4	5	6	7	
Na	A	B	C	D	E	F	G	RESULTADOS
1	1	1	1	1	1	1	1	Y1 NIVEL 1
2	1	1	1	2	2	2	2	Y2 NIVEL 1
3	1	2	2	1	1	2	2	Y3 NIVEL 1
4	1	2	2	2	2	1	1	Y4 NIVEL 1
5	2	1	2	1	2	1	2	Y5 NIVEL 2
6	2	1	2	2	1	2	1	Y6 NIVEL 2
7	2	2	1	1	2	2	1	Y7 NIVEL 2
8	2	2	1	2	1	1	2	Y8 NIVEL 2

Fuente: Soto Fernández, G. (1996). El método Taguchi en diseños experimentales.

ANEXO 6: Factor de Potencia para media tensión otorgado por la empresa Distribuidora de Energía (SEAL)

Tal como se aprecia en el recibo el factor de medición aplicado por SEAL es 1.025 y el de Distribución es 1.05. Estos datos son necesarios para el cálculo de factor de calificación que se hace para la determinación si el cliente se encuentra en punta o fuera de punta de acuerdo a la fórmula.

$$FC = \frac{\text{Energía Activa en horas punta}}{\text{Demanda Máxima} \times \text{Factor de Medición} \times \text{Nº horas punta mensual}}$$



ANEXO 7: Pliego Tarifario para Media Tensión (SEAL)

Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad

Empresa: Seal

Pliego

MAJES-SIGUAS ▼

Vigencia

4/May/2018 ▼

Sector

2

Interconexion

SEIN

	MEDIA TENSIÓN	UNIDAD	TARIFA
			Sin IGV
TARIFA MT2:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y		
	CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.64
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	22.62
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	18.43
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	54.40
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S./kW-mes	11.16
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S./kW-mes	11.86
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.25
TARIFA MT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y		
	CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.64
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	22.62
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	18.43
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	50.67
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	25.02
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	11.94
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	11.89
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.25

ANEXO 8: Pliego Tarifario para Agua Potable (SEDAPAR)

c. Estructura Tarifaria de las Localidades de: Aplao, Atico, Chivay, Yauca, Chala, El Pedregal y Caravelí.

Cargo por Volumen de Agua Potable		
CLASE	RANGOS	Tarifa (S/. / m ³)
CATEGORIA	(m ³ /mes)	Incremento 2.44%
RESIDENCIAL		
Social	0 a más	0.386
Doméstico	0 a 10	0.386
	10 a 30	0.802
	30 a más	1.458
NO RESIDENCIAL		
Comercial	0 a más	2.417
Industrial	0 a más	2.417
Estatat	0 a más	1.344

(*) Las tarifas no incluyen IGV

Cargo por Volumen de Alcantarillado		
CLASE	RANGOS	Tarifa (S/. / m ³)
CATEGORIA	(m ³ /mes)	Incremento 2.17%
RESIDENCIAL		
Social	0 a más	0.204
Doméstico	0 a 10	0.204
	10 a 30	0.422
	30 a más	0.769
NO RESIDENCIAL		
Comercial	0 a más	1.287
Industrial	0 a más	1.287
Estatat	0 a más	0.716

(*) Las tarifas no incluyen IGV

Asignación Máxima de Consumo

VOLUMEN ASIGNADO (m ³ /mes)				
Social	Doméstico	Comercial	Industrial	Estatat
15	15	15	50	95

Fuente: Sedapar (2017) Resolución 31128-2017/S-30000. Arequipa, Perú.

ANEXO 9: Cotización Sal Industrial



ELECTRO COMERCIAL CRISTIAN
 Av. Argentina N°215-Lima Pje.9 Puesto AX-4 C.C Nicolini
 R.U.C. 10468698671 Teléfono: 976 313 934
 e-mail: cristianhilariorres394@gmail.com

Señor (a) (es):

PIERO MISHELL CRUZ VELASQUEZ
 RUC: 10731360842

Atención: PIERO MISHELL CRUZ VELASQUEZ

Referencia:

COTIZACION N° 0001 - 0000000641

Fecha Emisión: 2019/07/15
Condición Venta: CREDITO 30 DIAS
Validez Oferta: 30 Días
Vendedor: CRISTIAN HILARIO TORRES AV. ARGENTINA N°215-LIMA PJE.9 PUESTO AX-4 C.C NICOLINI Teléfono: 976313934 cristianhilariorres@gmail.com
Plazo Entrega: Inmediata
Lugar Entrega: A especificar
Referencia:
Moneda: SOLES

Por medio de la presente, les hacemos llegar la siguiente cotización de acuerdo a lo solicitado:


Código Artículo	Cantidad (kg)	Descripción Sal	MARCA	Precio Por Saco (50 kg) S/.	Precio Unitario S/	Precio Venta S/	Dcto (%)	Total S/
003216	1000.000	Industrial Granulada "LSP"(Bls x 50 Kg.)	SPL	12.00	0.24	240.00		240.00
Observaciones: Precios Incluyen IGV				Total Cotización -> S/				240.00

Formas de Pago: SOLES BCP: CTA CTE: 191-340-26012008

Sin otro particular de momento, nos despedimos de ustedes.

Atentamente,

.....
 Cristian Hilario Torres
 GERENTE COMERCIAL
 ELECTRO COMERCIAL CRISTIAN



ELECTRO COMERCIAL CRISTIAN

VENTA DE MATERIALES ELÉCTRICOS, INDUSTRIALES Y DOMÉSTICOS, CABLES DE ALTA Y BAJA TENSIÓN, TUBERÍAS CONDUIT RÍGIDO Y FLEXIBLE, MATERIALES PARA PUESTA TIERRA, PARA RAYOS FRANKLIN IÓNICOS.
PARA LA CUAL CONTAMOS CON LAS MARCAS MÁS REPRESENTATIVAS DEL MERCADO NACIONAL E INTERNACIONAL, ATENCIÓN AL POR MAYOR, MENOR Y PROVINCIAS.

Av. Argentina N°215 - Lima Pje. 9 Puesto AX-4 C.C. Nicolini
Cel. 976 313 934 E-mail: cristianhilariorres394@gmail.com

PROFORMA ☒

NOTA DE VENTA ☐

Nº 010701

DIA

MES

AÑO

15

07

19

N° CUENTA BCP 191-340-26012008

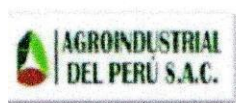
Señor(es): David

Dirección:

Teléfono:

CANT.	DESCRIPCION	P. UNIT.	IMPORTE
01	Sal industrial 50kg. saco	12.00	

ANEXO 10: Informe de Ensayo de Calidad Higiénica



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 085



LABORATORIO DE ENSAYO CONTROL DE CALIDAD – PLANTA MAJES
AGROINDUSTRIAL DEL PERU S.A.C.

INFORME DE ENSAYO

N° 019 – 0076

Cliente : Sres.
David Gustavo Arias Chipana
Piero Mishell Cruz Velázquez.
Dirección del Cliente : José Baquijano 164 Ferrovianos.
Fecha de emisión : 24 de julio del 2018

METODOLOGÍA APLICADA

Método de Referencia	Descripción	Parámetro	Unidad	Límite de Cuantificación
AOAC 986.33 Revisión 2016.	Bacterial and Coliform Counts in Milk. Dry Rehydratable Film Methods (Petrifilm™ Aerobic Count Plate and petrifilm™ coliform count plate™)	Recuento de Mesófilos Aerobios.	UFC/mL	1 UFC/mL

Procedencia de la Muestra:	Hacienda Grande SAC
Tipo de Muestra:	Leche cruda

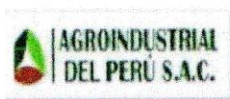
JAIRZINHO JAVIER
CAYRO CHÁVEZ
CBP. 10308

“Los resultados emitidos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado de calidad del sistema de calidad de la entidad que lo produce.”

Los resultados reportados corresponden a la muestra analizada. Informe N°019-0076.

Página 1 de 2

Direcciones: Fiscal: Av. República de Panamá NRO. 2461 - URB Santa Catalina La Victoria – Lima. Laboratorio: Km. 912 de la carretera Panamericana, Villa el Pedregal, Majes, Caylloma, Arequipa. Tel: 05422252 Tel. Fax: 054222525. e-mail: ccalidad.majes@agroindustrialdelperu.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 085



Revisado por: Javier Cayro – Jefe de Control de Calidad

PLANTILLA DE RESULTADOS

Prueba	UFC/ml	FECHA DE ANALISIS
1	10,000.00	22/Jul
2	20,000.00	22/Jul
3	60,000.00	22/Jul
4	20,000.00	22/Jul
5	20,000.00	22/Jul
6	20,000.00	22/Jul
7	30,000.00	22/Jul
8	40,000.00	22/Jul
9	20,000.00	22/Jul
10	10,000.00	22/Jul
11	10,000.00	22/Jul
12	10,000.00	22/Jul
13	49,000.00	22/Jul
14	55,000.00	22/Jul
15	45,000.00	22/Jul
16	41,000.00	22/Jul
17	34,000.00	22/Jul
18	33,000.00	22/Jul
19	35,000.00	22/Jul
20	16,000.00	22/Jul

Observaciones:

- “-”: No se recibió ítem de ensayo especificado.
- MNPC: Muy numeroso para contar.

“Los resultados emitidos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado de calidad del sistema de calidad de la entidad que lo produce.”

Los resultados reportados corresponden a la muestra analizada. Informe N°019-0076.

Página 2 de 2

Direcciones: Fiscal: Av. República de Panamá NRO. 2461 - URB Santa Catalina La Victoria – Lima. Laboratorio: Km. 912 de la carretera Panamericana, Villa el Pedregal, Majes, Caylloma, Arequipa. Tel: 05422252 Tel. Fax: 054222525. e-mail: ccalidad.majes@agroindustrialdelperu.com.pe

AGFQ10064 VE06

APÉNDICES

APÉNDICE 1: Entrevista A Expertos

CÉDULA PARA LA ENTREVISTA A EXPERTOS INICIAL

Problema seleccionado: ¿Un sistema de Ice Slurry permitirá que una empresa del sector agroindustrial dedicada a la producción de leche evaporada pueda enfriar de forma efectiva el producto lácteo?	
Interrogantes: ¿Es viable el tema el problema de investigación?	
Entrevistado: Iván Rodríguez Valdivia	
Títulos – Grados:	
Centro de Trabajo: Jefe de Mantenimiento- Planta Majes de Gloria S.A.	Lugar: Arequipa- Perú
Fecha: 10/04/2017	
1. ¿Le parece relevante el problema? SI (X) NO() Porque: Me parece que es un problema que guarda relación con las necesidades de la industria láctea, ya que al ser un sistema acumulativo de refrigeración me permite producir el frío en horas que no son puntas; permitiendo aprovechar de mejor forma la energía eléctrica y reducir los costos al no usar energía eléctrica en las horas que cuesta más.	
2. ¿Son adecuados los objetivos? Si (X) No() Porque: Realmente creo que los objetivos van por buen camino, la idea es acumular el frío y hacerlo con el equipo más reducido posible. Lo que se debe buscar es la mayor eficiencia, y para este se tiene que buscar todas las variables y parámetros con los que se van a hacer las pruebas. Lo ideal sería también buscar dimensionar los equipos para cada requerimiento o necesidad, de acuerdo a las cantidades de leche a enfriar.	
3. ¿Cree que el estudio es viable? Si (X) No() Porque: Si, debido a que hay investigaciones que validan que es posible usar estos sistemas en lo que es la refrigeración y el enfriamiento de alimentos. Por tal es posible que se consiga enfriar la leche usando esta tecnología.	
4. ¿Cree que el estudio es factible? Si (X) No () Porque: En mi opinión se puede realizar la investigación ya que se cuenta con una gama de equipos tanto para la producción del ice Slurry y el enfriamiento de la leche, así como los equipos de medición que permitan obtener los datos y realizar el análisis estadístico. De esta forma si la teoría menciona que es posible realizar el enfriamiento de la leche con esta tecnología, es muy probable que se pueda llegar a resultados similares con la práctica.	

CÉDULA PARA LA ENTREVISTA A EXPERTOS INICIAL

Problema seleccionado: ¿Un sistema de ice Slurry permitirá que una empresa del sector agroindustrial dedicada a la producción de leche evaporada pueda enfriar de forma efectiva el producto lácteo?	
Interrogantes: ¿Es viable el tema el problema de investigación?	
Entrevistado: Jairzinho Javier Cayro Chávez	
Títulos – Grados: Licenciado En Biología, Con Estudios De Postgrado en TQM y Maestría En Gestión Integrada De Calidad, Medio Ambiente Y Salud Laboral, Curso TQM Osaka Japón	
Centro de Trabajo: Jefe Control de Calidad Gloria S.A. Planta Majes	Lugar: Arequipa- Perú
Fecha: 10/04/2017	
<p>1. ¿Le parece relevante el problema? SI (X) NO() Porque:</p> <p>Me parece que es relevante al ser una metodología conocida en otros campos ya que puede aportar beneficios respecto al enfriamiento de la leche. Como saben lo que se buscan es que la leche se encuentre en las condiciones adecuadas conforme a las normas de inocuidad. Y un factor muy importante para cumplir con estas normas está en la calidad microbiológica la cual se reduce al tener la leche a bajas temperaturas.</p> <p>De acuerdo a las investigaciones este sistema te permite almacenar la energía para enfriar, lo cual es una gran ventaja al momento de reducir los costos en la empresa. Además, que teóricamente los beneficios serían relevantes de acuerdo a las investigaciones y literatura existente. Si es que la teoría propone que es posible, entonces sí se puede llevar a la práctica.</p>	
<p>2. ¿Son adecuados los objetivos? Si (X) No () Porque:</p> <p>Sus objetivos son correctos pero deben estar planteados enfocándose más en el diseño de un sistema de enfriamiento de leche con Ice Slurry para que sea una alternativa óptima frente a la problemática.</p>	
<p>3. ¿Cree que el estudio es viable? Si(X) No() Porque:</p> <p>Sí es viable porque esta tecnología ya existe en el mercado, y ofrece unas ventajas en cuanto a los sistemas de enfriamiento con agua fría que son utilizados en la mayoría de las industrias lácteas.</p>	
<p>4. ¿Cree que el estudio es factible? Si(X) No () Porque:</p> <p>Es factible porque en la empresa Agroindustrial del Perú se cuenta con la tecnología implementada lista para poder hacer los experimentos y ensayos, de tal forma que la posibilidad de realizar la investigación que proponen es tanto viable como factible.</p>	

5. ¿Qué sugerencias nos hace?

Empaparse con la tecnología Ice Slurry y conocer los conceptos fundamentales de termodinámica y refrigeración.

Hacer visitas constantes a la planta para poder realizar el levantamiento de información a través de observaciones, y para familiarizarse con el proceso.

6. ¿Qué fuentes bibliográficas, documentales o de campo sugiere?

Deben buscar información referente a: Sistema de frío en leche, Calidad de la leche, Refrigerantes permitidos de grado alimentario, sistemas de refrigeración.

Toda esta información la pueden encontrar en Normas Técnicas, y artículos científicos publicados en revistas como Elsevier, Redalyc, Scielo, entre otras.

7. Otras observaciones:

Esta tecnología se ha probado ya en la empresa, por lo cual se sugiere complementar los estudios realizados para el enfriamiento de leche utilizando distintas variables.

“Aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para la optimización del proceso de enfriamiento de leche cruda en proveedores y cales																										
Tema seleccionado: Propiedades y Calidad de la leche																										
Entrevistado: Jairzinho Javier Cayro Chávez																										
Títulos – Grados: Licenciado En Biología, Con Estudios De Postgrado en TQM Y Maestría En Gestión Integrada De Calidad, Medio Ambiente Y Salud Laboral, Curso TQM Osaka Japón																										
Centro de Trabajo: Jefe Control De Calidad Gloria S.A. Planta Majes	Lugar: Arequipa- Perú																									
Fecha: 10/04/2017																										
<p>1. ¿A qué temperatura sale la leche de la ubre de la vaca? En la zona actualmente los proveedores tanto grandes como pequeños, al momento de realizar el ordeño de la leche, la obtienen a una temperatura promedio de 38 °C aproximadamente.</p>																										
<p>2. ¿El valor de la viscosidad de la leche presentado por Alais coincide con los valores obtenidos para la leche en el Perú? En lo que respecta a la viscosidad dinámica de la leche cruda en Perú, esta también se encuentra cercana a estos valores por lo que usar cualquiera de los valores presentados por Alais en la Tabla 2 con fines de realizar cálculos es acertado.</p>																										
<p>3. ¿En nuestro país se aplica pagos o bonos en base a calidad microbiológica? Si, actualmente se aplican bonificaciones o descuentos en base a la calidad microbiológica. Estas son aplicadas sobre un precio base aproximado de S/. 1.25 soles por kilogramo de leche.</p>																										
<p>4. ¿La clasificación de la leche cruda de acuerdo a su desarrollo bacteriano según la ISO 8553 es aplicada en el sector lácteo de nuestro país? Aunque la clasificación basada en la ISO 8553 es correcta, en la industria peruana existente se adecua y amplía tal clasificación, respetando los parámetros de la Norma en cuanto a los tipos regular, mala y muy mala; agregando más categorías para aquella leche de buena calidad. De tal forma, los pagos en base a calidad microbiológica vienen dados en forma referencial de la siguiente forma:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Calidad de la Leche</th> <th>Bonificación o descuento (soles /kg de leche)</th> <th>UFC/mL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A++</td> <td>0.1</td> <td>0 a 50000</td> </tr> <tr> <td>A+</td> <td>0.075</td> <td>50000 a 150000</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>0.05</td> <td>150000 a 300000</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.025</td> <td>300000 a 500000</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0</td> <td>500000 a 1500000</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>-0.025</td> <td>1500000 a 5000000</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>-0.05</td> <td>más de 5000000</td> </tr> </tbody> </table>			Calidad de la Leche	Bonificación o descuento (soles /kg de leche)	UFC/mL	A++	0.1	0 a 50000	A+	0.075	50000 a 150000	A	0.05	150000 a 300000	B	0.025	300000 a 500000	C	0	500000 a 1500000	D	-0.025	1500000 a 5000000	E	-0.05	más de 5000000
Calidad de la Leche	Bonificación o descuento (soles /kg de leche)	UFC/mL																								
A++	0.1	0 a 50000																								
A+	0.075	50000 a 150000																								
A	0.05	150000 a 300000																								
B	0.025	300000 a 500000																								
C	0	500000 a 1500000																								
D	-0.025	1500000 a 5000000																								
E	-0.05	más de 5000000																								

“Aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para la optimización del proceso de enfriamiento de leche cruda en proveedores y cales	
Tema seleccionado: Enfriamiento de la leche	
Entrevistado: Jairzinho Javier Cayro Chávez	
Títulos – Grados: Licenciado En Biología, Con Estudios De Postgrado en TQM Y Maestría En Gestión Integrada De Calidad, Medio Ambiente Y Salud Laboral, Curso TQM Osaka Japón	
Centro de Trabajo: Jefe Control De Calidad Gloria S.A. Planta Majes	Lugar: Arequipa- Perú
Fecha: 10/04/2017	
<p>1. ¿A qué temperatura se suele enfriar la leche para que se reduzca el desarrollo bacteriano?</p> <p>Por lo general se enfría la leche a una temperatura objetivo de 4 o 5 °C, siendo 3°C lo máximo de temperatura a la que se puede reducir. A esta temperatura se logra reducir el desarrollo de microorganismos notablemente, saliendo de este rango se incrementa el desarrollo bacteriano o se corre el riesgo de que la leche sufra congelamiento.</p>	
<p>2. ¿Qué equipos se utiliza en la industria para enfriar la leche?</p> <p>El proceso de enfriamiento de la leche tiene lugar con el uso equipos de refrigeración como los tanques de frío, bancos de hielo y los chillers.</p>	
<p>3. ¿Cuál es la diferencia entre estos equipos?</p> <p>Básicamente se diferencian por el tiempo en que tardar en enfriar la leche, y por ende la calidad de esta y los costos en que se incurren. Por ejemplo, en el caso de las panzas frías las cuales son es su gran mayoría la tecnología más usada por los proveedores lecheros de la zona; se tarda en enfriar como mínimo 3 horas un ordeño. Mientras que con un banco de hielo o un chiller se tarda una hora.</p>	
<p>4. ¿Se usan depresores de temperatura para los fluidos que se utilizan en el enfriamiento de la leche?</p> <p>Si, a lo largo de los años se ha venido utilizando salmuera o soluciones con azúcar para bajar el punto de congelamiento a los fluidos y conseguir una menor temperatura del fluido para enfriar el agua. Actualmente, aparte de estos también se está usando el propilenglicol el cual es un anticongelante de grado alimenticio; que en el caso que hubiera alguna mezcla con la leche podría corregirse tal incidente sin afectar las propiedades de esta ni tampoco su calidad.</p>	

“Aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para la optimización del proceso de enfriamiento de leche cruda en proveedores y cales	
Tema seleccionado: Enfriamiento de la leche	
Entrevistado: Iván Rodríguez	
Títulos – Grados: Ingeniero Mecánico	
Centro de Trabajo: Jefe de Mantenimiento- Agroindustrial del Perú Grupo Gloria	Lugar: Arequipa- Perú
Fecha: 10/06/2017	
<p>1. ¿A qué temperatura se suele enfriar la leche para que se reduzca el desarrollo bacteriano?</p> <p>En una planta o cal se busca enfriar la leche a una temperatura de 4°C aproximadamente.</p>	
<p>2. ¿Qué equipos se utiliza en la industria para enfriar la leche?</p> <p>El proceso de enfriamiento de la leche tiene lugar con el uso equipos de refrigeración como los tanques de frío o panzas frías, bancos de hielo y los chillers. La mayoría de estas máquinas suelen ir acompañadas de intercambiadores de calor de placas que permiten una eficiencia del 93% teóricamente, siendo mayor que la de otro tipo de intercambiadores en el proceso de enfriamiento. Aunque son los intercambiadores con mayor eficiencia en el mercado, la teoría no siempre se asemeja en su totalidad a la práctica; consiguiendo como eficiencia de estos equipos un 85% como mínimo.</p>	
<p>3. ¿Cuál es la diferencia entre estos equipos?</p> <p>La capacidad de producción, los ordeños, la cantidad de tiempo y los costos en que se incurren al enfriar la leche son significativos al momento de seleccionar los equipos. Viendo desde el punto de vista de la producción y ordeños se suele utilizar chillers para aquellos casos en los que se requiere un enfriamiento constante por los altos volúmenes de leche; para casos en los que se tiene la facilidad de solo contar con dos ordeños diarios y hay una brecha de tiempo grande entre estos e usa los bancos de hielo como sistemas de almacenamiento térmico.</p> <p>También juega un papel importante la potencia de los equipos, ya que por ejemplo en el caso de los chillers, un mayor consumo de energía eléctrica debido a que son operados simultáneamente con el proceso de enfriamiento, teniendo así que generar energía frigorífica en un menor tiempo requiriendo más potencia, debido a que posee un compresor de mayor tamaño acorde a los requerimientos.</p> <p>Si se trata del tiempo de enfriamiento las panzas frías tardan aproximadamente 3 horas en conseguir el enfriamiento de la leche, pero logran una reducción de costos en facturación eléctrica frente a los chillers que tardan solo una hora en conseguir el enfriamiento de esa misma cantidad de leche. Pero comparados con tecnologías como bancos de hielo, estos tienen desventaja en los costos debido a que al contar con el almacenamiento térmico estos permiten ser excepción en tarifas por uso de energía en hora punta.</p>	

4. ¿Se usan depresores de temperatura para los fluidos que se utilizan en el enfriamiento de la leche?

Si, en la actualidad se usan glicoles y salmueras que permiten bajar el punto de congelamiento. Pero por lo general el uso de estos se da en proporciones mínimas ya que para efectos del enfriamiento de la leche tales temperaturas del fluido secundario requeridas para el intercambio de calor con la leche no son muy bajas.

La finalidad del uso de estos depresores está en la reducción de la cantidad de fluido secundario a enfriar, y por ende se reduce los tiempos de enfriamiento y el consumo de energía.

5. ¿Cuál es la eficiencia para generación de hielo en un equipo que trabaja con almacenamiento de energía como lo es Bancos de hielo?

En las operaciones de enfriamiento para lo que es la generación de hielo, un equipo convencional trabaja con una eficiencia de generación de hielo del 80%. Lo que se traduce en que la cantidad de fluido a producir debe ser mayor a la que se utiliza en el intercambio de calor para conseguir un óptimo enfriamiento y tener una holgura.

Además, que se debe considerar que en la operación de cualquier equipo que use hielo, la eficiencia de fusión de hielo es de 90%.

6. ¿Cuál es el funcionamiento de un banco de hielo?

Se genera hielo en las paredes del serpentín en el que en su interior circula un refrigerante, causando que el agua almacenada se congele. Luego de esto se hace circular esta agua subenfriada por el intercambiador y esta retorna al banco haciéndose fluir hasta que se acabe el hielo

7. ¿Cada cuánto tiempo se cambia el agua que circula en el banco de hielo?

Por lo general se realiza el cambio del agua para dar un mantenimiento al equipo, y esto se hace cada 6 meses

8. ¿El periodo de cambio del fluido que circula en el equipo de almacenamiento térmico se puede replicar para la propuesta de Ice Slurry?

Por supuesto que se puede, pero el sistema que se está proponiendo para Ice Slurry goza de una ventaja al contar con más tanques de almacenamiento para la salmuera; en el cual se puede ir alternando el mantenimiento.

“Aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para la optimización del proceso de enfriamiento de leche cruda en proveedores y cales	
Tema seleccionado: Costos de enfriamiento de la leche	
Entrevistado: Iván Rodríguez	
Títulos – Grados: Ingeniero Mecánico	
Centro de Trabajo: Jefe de Mantenimiento- Agroindustrial del Perú Grupo Gloria	Lugar: Arequipa- Perú
Fecha: 10/06/2017	
<p>1. ¿Qué alternativas existen para generar un ahorro en el enfriamiento de la leche?</p> <p>Pues se tiene el uso de procesos previos de enfriamiento de la leche con ayuda de agua de red o de pozo mediante intercambiadores de calor, además se cuenta con la aplicación de los sistemas de almacenamiento de frío para evadir las tarifas por consumo de energía en hora punta.</p>	
<p>2. Para el caso de los depresores de temperatura ¿Qué beneficios tendría usar sal frente a propilenglicol, o viceversa?</p> <p>El propilen glicol al ser de grado alimenticio permite una mayor facilidad de manejo frente a incidentes de contaminación de la leche, cosa que con la sal tampoco habría mucho problema puesto que la probabilidad de que suceden tales incidentes es mínima. Por su parte, la sal es mucho más barata que el propilenglicol. De acuerdo a nuestro proveedor una tonelada de sal industrial cuesta 240 Soles. Y en el caso del propilenglicol uno de los proveedores a nivel mundial Pecomark vende un bidón de 25 litros a 820 soles.</p> <p>Segundo, es mucho más accesible encontrar sal en el mercado a encontrar propilenglicol, pues este último se consigue sólo en laboratorios o por proveedores especializados.</p>	
<p>3. ¿Cómo se realizan los procesos de pre - enfriamiento?</p> <p>Por lo general este brinda una ventaja grande cuando se trata de zonas como la sierra en las que el agua se encuentra a temperatura ambiente muy baja, esto debido a que permite una reducción en la cantidad de fluido secundario y por tal en el tiempo y consumo energético necesario para hacer descender la temperatura de este fluido.</p> <p>Para zonas como las de Arequipa, el agua de red se suele encontrar a unos 20 °C aproximadamente, permitiendo temperaturas de pre - enfriado del lácteo como máximo de 24°C y como mínimo de 20°C. Por tal, el pre enfriado aún en esta zona genera un ahorro de energía ya que permite la reducción de un delta de 10 °C de temperatura sin afectar la facturación de electricidad.</p>	
<p>4. ¿Al momento de evaluar Ice Slurry como una propuesta tecnológica que costos se deberán considerar? ¿Cómo se realiza el ahorro por calificar como cliente fuera de hora punta?</p> <p>Entre los costes más importantes para evaluar la aplicación de esta tecnología se encuentran aquellos que la empresa distribuidora, en este caso SEAL, factura como: cargo por Energía Activa, cargo por Potencia Activa de Generación, y el cargo por Potencia Activa de Distribución. Esto es debido a que, para realizar la facturación se</p>	

califica a los usuarios como predominante en punta o en fuera de punta. En el caso que se predomine en punta la empresa distribuidora realiza la facturación usando la tarifa como presente en punta para los 3 criterios antes mencionados considerando incluso lo que cayó en fuera de punta como presente en punta. Por tal calificar como fuera de punta se hace algo necesario para las empresas, y es ahí donde viene la utilización de una tecnología de almacenamiento térmico que permita evitar consumir potencia en las horas punta. De esta forma, es que un sistema como los bancos de hielo reduce costos en capacidad instalada y consumo energético, generando un ahorro que a su vez paga la inversión.

5. ¿A qué horas se les considera como Punta?

Las horas punta son aquellas que se encuentran entre las 6 de la tarde y 11 de la noche, las demás son fuera de punta.

Los precios que la empresa distribuidora te cobra, están en un pliego tarifario que esta ofrece; donde se detallan los precios de la energía y potencia por consumo en hora punta y fuera de punta.

6. ¿Cuál es la tarifa en la que cae la mayoría de proveedores y Cales de la zona?

Lo ideal es que un proveedor o una cal tenga una tarifa media tensión, por lo general en la zona se usa la MT3.

7. ¿Cómo se aplica el factor de calificación en punta o fuera de punta?

La calificación del usuario por parte de la SEAL se realiza de acuerdo a una fórmula, en la que se divide la Energía usada en hora Punta entre el producto de la demanda máxima, el factor de medición y el número de las horas punta del mes.

FC

$$= \frac{\text{Energía Activa en horas punta (EAHP)}}{\text{Demanda Máxima (DM)} \times \text{Factor de Medición} \times \text{Nº horas punta mensual}}$$

Si el FC sale menos de 0.5 se califica al usuario como fuera de punta, pero si es que el FC es igual o mayor a 0.5 se califica al usuario como presente en punta y se le cobra de acuerdo a esa tarifa.

8. ¿De dónde sale el número de horas punta mensual?

Las horas punta son aquellas que se encuentran entre las 6 de la tarde y 11 de la noche, las demás son fuera de punta. Es decir, en un día se tiene 5 horas punta y estas se multiplican por los días del mes para tener el total de horas punta mensual. Sin embargo, SEAL al realizar el conteo de los días del mes exceptúa a los domingos y feriados, teniendo como un mínimo de días 24 y como máximo 26.

APÉNDICE 2: Matriz De Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
Título	“Aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para la optimización del proceso de enfriamiento de leche en proveedores y cales”				
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL	VARIABLE DEPENDIENTE (y)	INDICADORES	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
¿Se podrá aplicar Ice Slurry como una propuesta tecnológica de un sistema de enfriamiento con intercambiadores de calor para los proveedores y Cales de la industria láctea ubicados en el distrito de Majes, logrando una mejora efectividad del proceso de enfriamiento?	Demostrar la aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para el enfriamiento de leche cruda con intercambiadores de calor en la mejora de la efectividad de dicho proceso para los proveedores y Cales de la industria láctea ubicados en el distrito de Majes.	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica impacta positivamente en la efectividad del proceso de enfriamiento de la leche en cuanto a costos y productividad, asegurando la calidad del producto	<ul style="list-style-type: none"> ● Eficiencia en el enfriamiento de leche ● T de enfriamiento de la leche ● Calidad microbiológica obtenida luego del enfriamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ● Volumen de leche enfriada/ Costos Energéticos ● Producción (Volumen de leche)/ energía. ● Productividad parcial de Insumo (producción total /cantidadde insumos) ● Beneficio percibido 	<p>Diseño de la Investigación: Mixto Tipo: Mixto.</p> <p>Para el diseño experimental es una investigación tipo cuasi-experimental.</p> <p>Para el diseño no experimental se usa una investigación Comparativa. Exploratoria, Descriptiva y Explicativa.</p> <p>Metodología: Mixta. De registros históricos, Analítica Comparativa.</p> <p>Técnicas: Experimentos, Entrevista a expertos, Fichas bibliográficas. Observación</p> <p>Instrumetos: Material experimental, Guía de pautas, formato de fichas.</p>
SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS SECUNDARIA	VARIABLE INDEPENDIENTE (x)		
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Es posible enfriar la leche cruda con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor desde 38 ° C a una temperatura objetivo dentro del rango de 3 a 5 °C? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la posibilidad de utilizar Ice Slurry para enfriar la leche cruda a una temperatura objetivo dentro del rango de 3 a 5 °C. • Elaborar los diseños experimentales y realizar las experiencias necesarias para validar la aplicación de un sistema de enfriamiento de leche usando Ice Slurry como fluido secundario a través de intercambiadores de calor. 	La aplicación de un sistema Ice Slurry Bank como propuesta tecnológica permite enfriar la leche cruda a una temperatura inferior a 5°C, la cual es el parámetro máximo del rango térmico adecuado para la refrigeración de la leche cruda (3 a 5 °C).	Parámetros de diseño del sistema: Área de transferencia, porcentaje de aditivo, proporción ice slurry-leche, porcentaje de hielo, agitación del fluido secundario almacenado.	<ul style="list-style-type: none"> ● volumen de leche enfriada/ tiempo. ● Volumen de leche/ Potencia Calorífica ● Beneficio percibido/costo de insumos. ● Razón de flujos intercambiados. ● Utilización ● Ufc/cc de leche ● Producción total/ producción no conforme (Volumen de leche enfriada/volumen de leche enfriada defectuosa) 	
<ul style="list-style-type: none"> • ¿El enfriamiento de Ice Slurry a través de intercambiadores de calor permitirá una reducción del tiempo necesario para enfriar la leche cruda frente al sistema más utilizado en el sector actualmente? 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar la efectividad de la propuesta tecnológica frente a las tecnologías actuales en términos de tiempo de enfriamiento de la leche. 	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica permite reducir el rango de tiempo que toma el proceso de enfriamiento de leche cruda, en comparación a la tecnología más usada en el sector.	Calidad de la leche que sale del ordeño		
<ul style="list-style-type: none"> • ¿El uso de un sistema de enfriamiento con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor permitirá aprovechar de forma eficiente la energía térmica? 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una evaluación económica en cuanto a productividad y de consumo energético de la propuesta tecnológica. 	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica impacta positivamente asegurando la calidad microbiológica de la leche cruda, al mantener el producto en una clasificación de "Buena" según la Norma ISO 8553 .	Tarifa de servicios básicos y costos de insumos.		
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Con el mismo consumo eléctrico que usan los sistemas actuales de enfriamiento se podrá enfriar una cantidad mayor de leche? 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una evaluación económica, de productividad y de consumo energético de la propuesta tecnológica. 		Porcentaje de aditivo (% del propilen glicol y NaCl)		
<ul style="list-style-type: none"> • ¿La aplicación del sistema de enfriamiento con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor favorecerá a la reducción de costos? 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una evaluación económica en cuanto a productividad y de consumo energético de la propuesta tecnológica. 	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica permite reducir los costos en cuanto a consumo energético e insumos.	-		
<ul style="list-style-type: none"> • ¿La aplicación del sistema de enfriamiento con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor permitirá el aseguramiento de la calidad microbiológica de la leche cruda? 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la influencia del sistema de enfriamiento propuesto en la calidad microbiológica de la leche cruda. 	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica permite mejorar la productividad parcial del proceso de enfriamiento de leche.	Concentración del hielo del Ice Slurry VARIABLE INTERVINIENTE <ul style="list-style-type: none"> ● Temperatura ambiente y presión atmosférica de la localización de estudio 		

APÉNDICE 3: Formatos De Fichas De Observación Y Formatos Elaborados Para El Registro De Los Experimentos

PRUEBA PRELIMINAR N°: ____

GENERACIÓN DE ICE SLURRY

Hora de Arranque del equipo	
Hora en que se apagó el equipo	
Tipo de Aditivo	

Hora 1° aparición del hielo	
Tiempo total de corrida (min)	
% de Aditivo en Volumen	

Concentración de hielo en el tanque	
-------------------------------------	--

Temperatura a ____ % de Concentración de Hielo (°C)	
---	--

Anotaciones	

INTERCAMBIO DE CALOR

Condiciones de los flujos

Flujo del producto	
Flujo de Ice Slurry	

Proporción entre los Flujos	
-----------------------------	--

Temperaturas iniciales y finales en el tablero

TABLERO INICIAL

Producto	Fluido Secundario /Ice Slurry
T ° de ingreso	T ° de salida
T ° de salida	T ° de ingreso

TABLERO FINAL

Producto	Fluido Secundario/ Ice Slurry
T ° de ingreso	T ° de salida
T ° de salida	T ° de ingreso

Anotaciones	

PRUEBA DEL ARREGLO ORTOGONAL N°:

ITEM	Agitación	% Aditivo	% Hielo	x/x de Flujo	Área de Intercambio
ARREGLO					

GENERACIÓN DE ICE SLURRY

Hora de Arranque del equipo	
Hora en que se apagó el equipo	
Tipo de Aditivo	

Hora 1° aparición del hielo	
Tiempo total de corrida (min)	
% de Aditivo en Volumen	

Concentración de hielo en el tanque	
-------------------------------------	--

Temperatura a ____ % de Concentración de Hielo (°C)	
---	--

Anotaciones	

INTERCAMBIO DE CALOR**Condiciones de los flujos**

Flujo del producto	
Flujo de Ice Slurry	

Proporción entre los Flujos	
-----------------------------	--

Temperaturas iniciales y finales en el tablero**TABLERO INICIAL**

Leche	Ice Slurry
T ° de ingreso	T ° de salida
T ° de salida	T ° de ingreso

TABLERO FINAL

Leche	Ice Slurry
T ° de ingreso	T ° de salida
T ° de salida	T ° de ingreso

Anotaciones	

APÉNDICE 4: Cálculos Termodinámicos

• CÁLCULO DE BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Cálculo de Balance de Materia y energía para intercambio de calor entre Agua-Leche

Leche	
Densidad (kg/litro)	1.029
Viscosidad a TM (pascal*s o KG/ms)	0.00212
Flujo (litro/s)	0.833333333
Conductividad térmica (Watt/m°K)	0.58
Resistencia al ensuciamiento (m ² °K/Watt)	0.0000103181
cp (Joule/kg °k)	3890
T° inicial	24
T° final	4

Propiedades del Agua	
Densidad (kg/litro)	1
Viscosidad a TM (pascal o KG/ms)	0.0012
Flujo (litro/s)	2.839863271
Conductividad térmica media (Watt/m°K)	0.565
Resistencia al ensuciamiento (m ² °K/Watt)	0.0000103181
cp (Joule/kg °k)	4210

$$Q_{leche} = \frac{\rho \left(\frac{Kg}{litro} \right) \times V(litro) \times cp \left(\frac{J}{Kg^{\circ}C} \right) \times \Delta T(^{\circ}C)}{\Delta t(segundos)}$$

$$Q_{leche} = \frac{1.029 \left(\frac{Kg}{litro} \right) \times 3000(litro) \times 3890 \left(\frac{J}{Kg^{\circ}C} \right) \times [24 - 4](^{\circ}C)}{3600(segundos)}$$

$$Q_{leche} = 66713.5 \text{ Watts}$$

$$\frac{Q_{leche} \times \text{eficiencia del intercambiador}}{\text{densidad} \times \text{Volumen} \times cp \times (T_f - T_i)} \times \frac{93}{100} = \frac{Q_{\text{agua fría}}}{\text{densidad} \times \text{Volumen} \times cp \times (T_f - T_i)}$$

$$V_{\text{agua fría}} = \frac{100}{93} \times \frac{66713.5 \text{ Watts} \times 3600 \text{ segundos}}{1 \frac{\text{Kg}}{\text{litro}} \times 4210 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (7 - 1)^\circ\text{C}}$$

$$V_{\text{agua fría}} = 10223.51 \text{ litros} \cong 10224 \text{ l}$$

Cálculo de Balance de Materia y energía para intercambio de calor entre Leche

Ice Slurry 3% NaCl con 15% de concentración de Hielo

Ice Slurry al 3% de NaCl	
Densidad (kg/litro)	1.022
Viscosidad dinámica a TM (pascal*s o KG/ms)	0.0023506
Flujo (litro/s)	0.986537328
Conductividad térmica media (Watt/m°K)	0.77
Resistencia al ensuciamiento (m2 °K/Watt)	0.0000103181
cp (Joule/kg °k)	4086
Viscosidad cinética al 3 % Na Cl (m2/s)	0.0000023
Densidad (kg/m3)	1022
Hf o calor latente de fusión (KJ/Kg)	297
Eficiencia de fusión del hielo (ef)	0.90
T ° inicial (°C)	-2.1
T ° final (°C)	5.5
% de hielo	0.15

$$\frac{Q_{\text{leche}} * \text{eficiencia del intercambiador} = Q_{\text{Ice Slurry}}}{\text{densidad} \times \text{Vol} \times \text{cp} \times (T_f - T_i)} \times \frac{93}{100} = \frac{\text{dens.} \times \text{Vol.} \times (\text{ef} * \% \text{ hielo} * h_f + \text{cp} \times (T_f - T_i))}{\Delta \text{ tiempo}}$$

$$V_{\text{agua fría}} = \frac{100}{93} \times \frac{66713.5 \text{ Watts} \times 3600 \text{ segundos}}{1.022 \frac{\text{Kg}}{\text{litro}} \times (0.9 \times 0.15 \times 297 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} + 4086 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (5.5 - (-2.1))^\circ\text{C})}$$

$$V_{\text{agua fría}} = 3551.53 \text{ litros} \cong 3552 \text{ litros}$$

Cálculo de Balance de Materia y energía para intercambio de calor entre Leche

Ice Slurry 3% NaCl con 5% de concentración de Hielo

Ice Slurry al 3% de NaCl con 5%	
Densidad (kg/litro)	1.024
Viscosidad dinámica a TM (pascal*s o KG/ms)	0.002304
Flujo (litro/s)	1.606683694
Conductividad térmica media (Watt/m°K)	0.7
Resistencia al ensuciamiento (m2 °K/Watt)	0.0000103181
cp (Joule/kg °k)	4086
Viscosidad cinética al 3 % Na Cl (m2/s)	0.00000225
Densidad (kg/m3)	1024
calor latente de fusión (KJ/Kg)	297
Eficiencia de fusión del hielo (ef)	0.90
T ° inicial (°C)	-1.9
T ° final (°C)	5.5
% de hielo	0.05

$$Q_{leche} * eficiencia del intercambiador = Q_{Ice Slurry}$$

$$\frac{densidad \times Vol \times cp \times (Tf - Ti)}{\Delta tiempo} \times \frac{93}{100} = \frac{dens. \times Vol. \times (ef * \% hielo * hf + cp \times (Tf - Ti))}{\Delta tiempo}$$

$$V_{agua fría} = \frac{100}{93} \times \frac{66713.5 \text{ Watts} \times 3600 \text{ segundos}}{1.024 \frac{Kg}{litro} \times (0.9 \times 0.05 \times 297 \frac{Kj}{Kg} + 4086 \frac{Joule}{Kg °C} \times (5.5 - (-1.9)) °C)}$$

$$V_{ice slurry} = 5784.06 \text{ litros} \cong 5784 \text{ litros}$$

Cálculo de Balance de Materia y Energía para intercambio de calor entre Leche

Ice Slurry 15% PG con 15% de concentración de Hielo

Ice Slurry al 15% de Propilenglicol	
Densidad (kg/litro)	1.009
Viscosidad dinámica a TM (pascal*s o KG/ms)	0.0105945
Flujo (litro/s)	0.783758074
Conductividad térmica media (Watt/m°K)	0.6
Resistencia al ensuciamiento (m2 °K/Watt)	0.0000103181
cp (Joule/kg °k)	3900
Viscosidad cinética al 10% glicol (m2/s)	0.0000105
Densidad (kg/m3)	1009
calor latente de fusión (KJ/Kg)	315
Eficiencia de fusión del hielo (ef)	0.90
T ° inicial (°C)	-5.5
T ° final (°C)	5.5
% de hielo	0.15

$$Q_{\text{leche}} * \text{eficiencia del intercambiador} = Q_{\text{Ice Slurry}}$$

$$\frac{\text{densidad} \times \text{Vol} \times cp \times (T_f - T_i)}{\Delta \text{tiempo}} \times \frac{93}{100} = \frac{\text{dens.} \times \text{Vol.} \times (\text{ef} * \% \text{hielo} * hf + cp \times (T_f - T_i))}{\Delta \text{ tiempo}}$$

$$V_{\text{agua fría}} = \frac{100}{93} \times \frac{66713.5 \text{ Watts} \times 3600 \text{ segundos}}{1.009 \frac{\text{Kg}}{\text{litro}} \times (0.9 \times 0.15 \times 315 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} + 3900 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (5.5 - (-5.5))^\circ\text{C}}$$

$$V_{\text{ice slurry}} = 3002.05 \text{ litros} \cong 3002 \text{ litros}$$

Cálculo de Balance de Materia y Energía para intercambio de calor entre Leche

Ice Slurry 15% PG con 5% de concentración de Hielo

Ice Slurry al 15% de Propilenglicol	
Densidad (kg/litro)	1.009
Viscosidad dinámica a TM (pascal*s o KG/ms)	0.0105945
Flujo (litro/s)	1.204702308
Conductividad térmica media (Watt/m°K)	0.6
Resistencia al ensuciamiento (m2 °K/Watt)	0.0000103181
cp (Joule/kg °k)	3900
Viscosidad cinética al 10% glicol (m2/s)	0.0000105
Densidad (kg/m3)	1009
calor latente de fusión (KJ/Kg)	315
Eficiencia de fusión del hielo (ef)	0.90
T ° inicial (°C)	-5.5
T ° final (°C)	5.5
% de hielo	0.05

$$Q_{\text{leche}} * \text{eficiencia del intercambiador} = Q_{\text{Ice Slurry}}$$

$$\frac{\text{densidad} \times \text{Vol} \times cp \times (T_f - T_i)}{\Delta \text{tiempo}} \times \frac{93}{100} = \frac{\text{dens.} \times \text{Vol.} \times (\text{ef} * \% \text{hielo} * hf + cp \times (T_f - T_i))}{\Delta \text{ tiempo}}$$

$$V_{\text{agua fría}} = \frac{100}{93} \times \frac{66713.5 \text{ Watts} \times 3600 \text{ segundos}}{1.009 \frac{\text{Kg}}{\text{litro}} \times (0.9 \times 0.05 \times 315 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} + 3900 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (5.5 - (-5.2))^\circ\text{C}}$$

$$V_{\text{ice slurry}} = 4572.28 \text{ litros} \cong 4573 \text{ litros}$$

• **CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR PHE**

Cálculo para intercambio de calor entre Leche Ice Slurry 3% NaCl con 15% de concentración de Hielo

Determinación del DTML

$$DTML = \frac{(T_{ec} - T_{sf}) - (T_{sc} - T_{ef})}{\ln \left(\frac{T_{ec} - T_{sf}}{T_{sc} - T_{ef}} \right)}$$

$$DTML = \frac{(24 - 7) - (4 - (-2.1))}{\ln \left(\frac{24 - 7}{4 - (-2.1)} \right)}$$

$$DTML = 11.176^{\circ}\text{C}$$

Determinación del hf del Ice Slurry

$$\text{Pr}(\text{Ice Slurry}) = \frac{\text{viscosidad} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \right) \times cp \left(\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \right)}{\text{Conductividad T.} \left(\frac{\text{Watt}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} \right)}$$

$$\text{Pr}(\text{Ice Slurry}) = \frac{0.0023506 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}} \times 4086 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}}{0.77 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}}$$

$$\text{Pr}(\text{Ice Slurry}) = 12.47$$

$$Nct(\text{Número de canales totales}) = N \text{ de placas} + 1$$

$$Nct = 28 + 1$$

$$Nct = 29$$

$$NC(\text{Número de canales}) = \frac{Nct}{2}$$

$$NC = \frac{29}{2}$$

$$NC = 14.5$$

$$Af(\text{Área del flujo Total}) = \text{Ancho de la placa} \times \text{espesor} \times NC$$

$$Af = 0.4 \text{ m} \times 0.0023 \text{ m} \times 14.5$$

$$Af = 0.01392 \text{ m}^2$$

$$GW = \frac{\text{densidad} \left(\frac{Kg}{litro} \right) \times \text{Volumen del flujo} \left(\frac{litros}{s} \right)}{Af(m^2)} = \frac{\frac{kg}{s}}{m^2}$$

$$GW = \frac{1.029 \frac{Kg}{litro} \times \frac{3000 \text{ litros}}{3600 s}}{0.01392 \text{ m}^2}$$

$$GW = 61.602 \frac{Kg}{s \text{ m}^2}$$

$$Re = \frac{GW * LC}{\mu} = \frac{GW \left(\frac{KG}{m^2 \text{ seg}} \right) \times \text{Longitud Caracteristica (m)}}{\text{viscosidad} \left(\frac{kg}{m \text{ s}} \right)}$$

$$Re = \frac{61.602 \frac{Kg}{s \text{ m}^2} \times 0.0048 \text{ m}}{0.00212 \frac{kg}{m \text{ s}}}$$

$$Re = 139.47$$

$$Nu = C \times Re^y \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.348 \times 147.9066^{0.663} \times 12.473^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 22.16$$

$$H_{\text{fluido}} = \frac{Nu \times k \left(\frac{Watt}{m^{\circ}C} \right)}{Lc(m)} = \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}$$

$$H_f = \frac{22.16 \times 0.77 \frac{Watt}{m^{\circ}C}}{0.0048 \text{ m}}$$

$$H_f = 3555.16 \frac{Watt}{m^2 \text{ } ^{\circ}C}$$

Para el cálculo del Coeficiente Total de transferencia de Calor se reemplazan los datos en la fórmula

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hf} + \frac{1}{hc} + \frac{sp}{Kac} + Ref + Rec}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{3555.16} + \frac{1}{2690.63} + \frac{0.0005}{16.3} + 0.000001719 + 0.0000103181}$$

$$U = 1437.5 \frac{Watt}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Finalmente se procede al cálculo de área necesaria de intercambio de transferencia de calor con la que contará el intercambiador con la siguiente fórmula:

$$Q = U \times At \times DTLM$$

$$At = \frac{71734.94 \text{ Watt}}{11.17^\circ C \times 1437.5 \frac{Watt}{m^2 \times ^\circ C}}$$

$$At = 4.465 \text{ m}^2$$

Cálculo para intercambio de calor entre Leche Ice Slurry 3% NaCl con 5% de concentración de Hielo

Determinación del DTML

$$DTML = \frac{(T_{ec} - T_{sf}) - (T_{sc} - T_{ef})}{\ln \left(\frac{T_{ec} - T_{sf}}{T_{sc} - T_{ef}} \right)}$$

$$DTML = \frac{(24 - 7) - (4 - (-1.9))}{\ln \left(\frac{24 - 7}{4 - (-1.9)} \right)}$$

$$DTML = 11.025^\circ C$$

Determinación del hc de la leche

$$Pr(leche) = \frac{\text{viscosidad} \left(\frac{Kg}{m \text{ s}} \right) \times cp \left(\frac{Joule}{Kg \text{ } ^\circ C} \right)}{\text{Conductividad T.} \left(\frac{Watt}{m \text{ } ^\circ C} \right)}$$

$$Pr (leche) = \frac{0.00212 \frac{Kg}{ms} \times 3890 \frac{Joule}{Kg \text{ } ^\circ C}}{0.58 \frac{Watt}{m \text{ } ^\circ C}}$$

$$Pr (leche) = 14.21$$

$$Nct(\text{Número de canales totales}) = N \text{ de placas} + 1$$

$$Nct = 28 + 1$$

$$Nct = 29$$

$$NC (\text{Número de canales}) = \frac{Nct}{2}$$

$$NC = \frac{29}{2}$$

$$NC = 14.5$$

$$Af(\text{Área del flujo Total}) = \text{Ancho de la placa} \times \text{espesor} \times NC$$

$$Af = 0.4 \text{ m} \times 0.0023 \text{ m} \times 14.5$$

$$Af = 0.01392 \text{ m}^2$$

$$GW = \frac{\text{densidad} \left(\frac{Kg}{litro} \right) \times \text{Volumen del flujo} \left(\frac{litros}{s} \right)}{Af(m^2)} = \frac{\frac{kg}{s}}{m^2}$$

$$GW = \frac{1.029 \frac{Kg}{litro} \times \frac{3000 \text{ litros}}{3600 \text{ s}}}{0.01392 \text{ m}^2}$$

$$GW = 61.602 \frac{Kg}{s \text{ m}^2}$$

$$Re = \frac{GW * LC}{\mu} = \frac{GW \left(\frac{KG}{m^2 seg} \right) \times \text{Longitud Caracteristica (m)}}{\text{viscosidad} \left(\frac{kg}{m s} \right)}$$

$$Re = \frac{61.602 \frac{Kg}{s \text{ m}^2} \times 0.0048 \text{ m}}{0.00212 \frac{kg}{m s}}$$

$$Re = 139.47$$

$$Nu = C \times Re^y \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.348 \times 139.47^{0.663} \times 14.21$$

$$Nu = 22.267$$

$$H_{\text{fluido}} = \frac{Nu \times k \left(\frac{Watt}{m^{\circ}C} \right)}{Lc(m)} = \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}$$

$$Hc = \frac{22.267 \times 0.58 \frac{Watt}{m^{\circ}C}}{0.0048 \text{ m}}$$

$$Hc = 2690.63 \frac{Watt}{m^2 \text{ } ^{\circ}C}$$

Determinación del hf del Ice Slurry

$$\begin{aligned} \text{Pr}(\text{Ice Slurry}) &= \frac{\text{viscosidad} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \right) \times c_p \left(\frac{\text{Joule}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right)}{\text{Conductividad T.} \left(\frac{\text{Watt}}{\text{m}^\circ\text{C}} \right)} \\ \text{Pr}(\text{Ice Slurry}) &= \frac{0.002304 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}} \times 4086 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}}{0.7 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^\circ\text{C}}} \\ \text{Pr}(\text{Ice Slurry}) &= 13.45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nct}(\text{Número de canales totales}) &= N \text{ de placas} + 1 \\ \text{Nct} &= 28 + 1 \\ \text{Nct} &= 29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NC}(\text{Número de canales}) &= \frac{\text{Nct}}{2} \\ \text{NC} &= \frac{29}{2} \\ \text{NC} &= 14.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Af}(\text{Área del flujo Total}) &= \text{Ancho de la placa} \times \text{espesor} \times \text{NC} \\ \text{Af} &= 0.4 \text{ m} \times 0.0023 \text{ m} \times 14.5 \\ \text{Af} &= 0.01392 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GW} &= \frac{\text{densidad} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{litro}} \right) \times \text{Volumen del flujo} \left(\frac{\text{litros}}{\text{s}} \right)}{\text{Af}(\text{m}^2)} = \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \\ \text{GW} &= \frac{1.024 \frac{\text{Kg}}{\text{litro}} \times \frac{5784.86 \text{ litros}}{3600 \text{ s}}}{0.01392 \text{ m}^2} \\ \text{GW} &= 118.19 \frac{\text{Kg}}{\text{s m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\text{GW} * \text{LC}}{\mu} = \frac{\text{GW} \left(\frac{\text{KG}}{\text{m}^2 \text{ seg}} \right) \times \text{Longitud Característica (m)}}{\text{viscosidad} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m s}} \right)} \\ \text{Re} &= \frac{118.19 \frac{\text{Kg}}{\text{s m}^2} \times 0.0048 \text{ m}}{0.002304 \frac{\text{kg}}{\text{m s}}} \\ \text{Re} &= 246.24 \end{aligned}$$

$$Nu = C \times Re^y \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.348 \times 246.24^{0.663} \times 13.45^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 31.86$$

$$H_{fluido} = \frac{Nu \times k \left(\frac{Watt}{m^{\circ}C} \right)}{Lc(m)} = \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}$$

$$H_f = \frac{31.86 \times 0.7 \frac{Watt}{m^{\circ}C}}{0.0048 m}$$

$$H_f = 4646.53 \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}$$

Para el cálculo del Coeficiente Total de transferencia de Calor se reemplazan los datos en la fórmula

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_f} + \frac{1}{h_c} + \frac{sp}{K_{ac}} + R_{ef} + R_{ec}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{4646.53} + \frac{1}{2690.63} + \frac{0.0005}{16.3} + 0.000001719 + 0.0000103181}$$

$$U = 1588.35 \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}$$

Finalmente se procede al cálculo de área necesaria de intercambio de transferencia de calor con la que contará el intercambiador con la siguiente fórmula:

$$Q = U \times At \times DTLM$$

$$At = \frac{71734.94 Watt}{11.025^{\circ}C \times 1588.35 \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}}$$

$$At = 4.09 m^2$$

Cálculo para intercambio de calor entre Leche Ice Slurry 15% PG con 5% de concentración de Hielo

Determinación del DTML

$$DTML = \frac{(T_{ec} - T_{sf}) - (T_{sc} - T_{ef})}{\ln\left(\frac{T_{ec} - T_{sf}}{T_{sc} - T_{ef}}\right)}$$

$$DTML = \frac{(24 - 7) - (4 - (-5.2))}{\ln\left(\frac{24 - 7}{4 - (-5.2)}\right)}$$

$$DTML = 13.31^{\circ}\text{C}$$

Determinación del hc de la leche

$$\text{Pr(leche)} = \frac{\text{viscosidad}\left(\frac{\text{Kg}}{\text{m s}}\right) \times cp\left(\frac{\text{Joule}}{\text{Kg }^{\circ}\text{C}}\right)}{\text{Conductividad T.}\left(\frac{\text{Watt}}{\text{m }^{\circ}\text{C}}\right)}$$

$$\text{Pr (leche)} = \frac{0.00212 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}} \times 3890 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg }^{\circ}\text{C}}}{0.58 \frac{\text{Watt}}{\text{m }^{\circ}\text{C}}}$$

$$\text{Pr (leche)} = 14.21$$

$$Nct(\text{Número de canales totales}) = N \text{ de placas} + 1$$

$$Nct = 28 + 1$$

$$Nct = 29$$

$$NC (\text{Número de canales}) = \frac{Nct}{2}$$

$$NC = \frac{29}{2}$$

$$NC = 14.5$$

$$Af(\text{Área del flujo Total}) = \text{Ancho de la placa} \times \text{espesor} \times NC$$

$$Af = 0.4 \text{ m} \times 0.0023 \text{ m} \times 14.5$$

$$Af = 0.01392 \text{ m}^2$$

$$GW = \frac{\text{densidad}\left(\frac{\text{Kg}}{\text{litro}}\right) \times \text{Volumen del flujo}\left(\frac{\text{litros}}{\text{s}}\right)}{Af(\text{m}^2)} = \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$GW = \frac{1.029 \frac{\text{Kg}}{\text{litro}} \times \frac{3000 \text{ litros}}{3600 \text{ s}}}{0.01392 \text{ m}^2}$$

$$GW = 61.602 \frac{\text{Kg}}{\text{s m}^2}$$

$$Re = \frac{GW * LC}{\mu} = \frac{GW \left(\frac{KG}{m^2 seg} \right) \times Longitud Caracteristica (m)}{viscosidad \left(\frac{kg}{m s} \right)}$$

$$Re = \frac{61.602 \frac{Kg}{s m^2} \times 0.0048 m}{0.00212 \frac{kg}{m s}}$$

$$Re = 139.47$$

$$Nu = C \times Re^y \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.348 \times 139.47^{0.663} \times 14.21$$

$$Nu = 22.267$$

$$H_{fluido} = \frac{Nu \times k \left(\frac{Watt}{m^{\circ}C} \right)}{Lc(m)} = \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}$$

$$H_c = \frac{22.267 \times 0.58 \frac{Watt}{m^{\circ}C}}{0.0048 m}$$

$$H_c = 2690.63 \frac{Watt}{m^2^{\circ}C}$$

Determinación del hf del Ice Slurry

$$Pr(Ice Slurry) = \frac{viscosidad \left(\frac{Kg}{m s} \right) \times cp \left(\frac{Joule}{Kg^{\circ}C} \right)}{Conductividad T. \left(\frac{Watt}{m^{\circ}C} \right)}$$

$$Pr (Ice Slurry) = \frac{0.0105945 \frac{Kg}{ms} \times 3900 \frac{Joule}{Kg^{\circ}C}}{0.6 \frac{Watt}{m^{\circ}C}}$$

$$Pr (Ice Slurry) = 68.86$$

$$Nct(\text{Número de canales totales}) = N \text{ de placas} + 1$$

$$Nct = 28 + 1$$

$$Nct = 29$$

$$NC \text{ (Número de canales)} = \frac{Nct}{2}$$

$$NC = \frac{29}{2}$$

$$NC = 14.5$$

$$Af \text{ (Área del flujo Total)} = \text{Ancho de la placa} \times \text{espesor} \times NC$$

$$Af = 0.4 \text{ m} \times 0.0023 \text{ m} \times 14.5$$

$$Af = 0.01392 \text{ m}^2$$

$$GW = \frac{\text{densidad} \left(\frac{Kg}{litro} \right) \times \text{Volumen del flujo} \left(\frac{\text{litros}}{s} \right)}{Af(m^2)} = \frac{\frac{kg}{s}}{m^2}$$

$$GW = \frac{1.009 \frac{Kg}{litro} \times \frac{4578.16 \text{ litros}}{3600 s}}{0.01392 \text{ m}^2}$$

$$GW = 92.18 \frac{Kg}{s \text{ m}^2}$$

$$Re = \frac{GW * LC}{\mu} = \frac{GW \left(\frac{KG}{m^2 \text{ seg}} \right) \times \text{Longitud Característica (m)}}{\text{viscosidad} \left(\frac{kg}{m \text{ s}} \right)}$$

$$Re = \frac{92.18 \frac{Kg}{s \text{ m}^2} \times 0.0048 \text{ m}}{0.0105945 \frac{kg}{m \text{ s}}}$$

$$Re = 41.76$$

$$Nu = C \times Re^y \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.348 \times 41.76^{0.663} \times 68.86^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 16.93$$

$$H_{\text{fluido}} = \frac{Nu \times k \left(\frac{Watt}{m^{\circ}C} \right)}{Lc(m)} = \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}$$

$$Hf = \frac{16.93 \times 0.6 \frac{Watt}{m^{\circ}C}}{0.0048 \text{ m}}$$

$$Hf = 2117.11 \frac{Watt}{m^2 \text{ } ^{\circ}C}$$

Para el cálculo del Coeficiente Total de transferencia de Calor se reemplazan los datos en la fórmula

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hf} + \frac{1}{hc} + \frac{sp}{Kac} + Ref + Rec}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2117.11} + \frac{1}{2690.63} + \frac{0.0005}{16.3} + 0.000001719 + 0.0000103181}$$

$$U = 1127.76 \frac{Watt}{m^2 \times ^\circ C}$$

Finalmente se procede al cálculo de área necesaria de intercambio de transferencia de calor con la que contará el intercambiador con la siguiente fórmula:

$$Q = U \times At \times DTLM$$

$$At = \frac{71734.94 Watt}{13.31^\circ C \times 1125.89 \frac{Watt}{m^2 \times ^\circ C}}$$

$$At = 4.777 m^2$$

Cálculo para intercambio de calor entre Leche Ice Slurry 15% PG con 15% de concentración de Hielo

Determinación del DTML

$$DTML = \frac{(Tec - Tsf) - (Tsc - Tef)}{\ln \left(\frac{Tec - Tsf}{Tsc - Tef} \right)}$$

$$DTML = \frac{(24 - 7) - (4 - (-5.2))}{\ln \left(\frac{24 - 7}{4 - (-5.5)} \right)}$$

$$DTML = 13.5^\circ C$$

Determinación del hc de la leche

$$Pr(leche) = \frac{viscosidad \left(\frac{Kg}{m s} \right) \times cp \left(\frac{Joule}{Kg ^\circ C} \right)}{Conductividad T. \left(\frac{Watt}{m ^\circ C} \right)}$$

$$\text{Pr (leche)} = \frac{0.00212 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}} \times 3890 \frac{\text{Joule}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}}{0.58 \frac{\text{Watt}}{\text{m } ^\circ\text{C}}}$$

$$\text{Pr (leche)} = 14.21$$

$$\text{Nct (Número de canales totales)} = N \text{ de placas} + 1$$

$$\text{Nct} = 28 + 1$$

$$\text{Nct} = 29$$

$$\text{NC (Número de canales)} = \frac{\text{Nct}}{2}$$

$$\text{NC} = \frac{29}{2}$$

$$\text{NC} = 14.5$$

$$\text{Af (Área del flujo Total)} = \text{Ancho de la placa} \times \text{espesor} \times \text{NC}$$

$$\text{Af} = 0.4 \text{ m} \times 0.0023 \text{ m} \times 14.5$$

$$\text{Af} = 0.01392 \text{ m}^2$$

$$\text{GW} = \frac{\text{densidad} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{litro}} \right) \times \text{Volumen del flujo} \left(\frac{\text{litros}}{\text{s}} \right)}{\text{Af (m}^2\text{)}} = \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$\text{GW} = \frac{1.029 \frac{\text{Kg}}{\text{litro}} \times \frac{3000 \text{ litros}}{3600 \text{ s}}}{0.01392 \text{ m}^2}$$

$$\text{GW} = 61.602 \frac{\text{Kg}}{\text{s m}^2}$$

$$\text{Re} = \frac{\text{GW} * \text{LC}}{\mu} = \frac{\text{GW} \left(\frac{\text{KG}}{\text{m}^2 \text{ seg}} \right) \times \text{Longitud Caracteristica (m)}}{\text{viscosidad} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m s}} \right)}$$

$$\text{Re} = \frac{61.602 \frac{\text{Kg}}{\text{s m}^2} \times 0.0048 \text{ m}}{0.00212 \frac{\text{kg}}{\text{m s}}}$$

$$\text{Re} = 139.47$$

$$\text{Nu} = C \times \text{Re}^y \times \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{Nu} = 0.348 \times 139.47^{0.663} \times 14.21$$

$$\text{Nu} = 22.267$$

$$H_{fluido} = \frac{Nu \times k \left(\frac{Watt}{m^{\circ}C} \right)}{Lc(m)} = \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}$$

$$H_c = \frac{22.267 \times 0.58 \frac{Watt}{m^{\circ}C}}{0.0048 m}$$

$$H_c = 2690.63 \frac{Watt}{m^2^{\circ}C}$$

Determinación del hf del Ice Slurry

$$Pr(Ice Slurry) = \frac{viscosidad \left(\frac{Kg}{m s} \right) \times cp \left(\frac{Joule}{Kg^{\circ}C} \right)}{Conductividad T. \left(\frac{Watt}{m^{\circ}C} \right)}$$

$$Pr(Ice Slurry) = \frac{0.0105735 \frac{Kg}{ms} \times 3900 \frac{Joule}{Kg^{\circ}C}}{0.6 \frac{Watt}{m^{\circ}C}}$$

$$Pr(Ice Slurry) = 68.73$$

$$N_{ct}(\text{Número de canales totales}) = N \text{ de placas} + 1$$

$$N_{ct} = 28 + 1$$

$$N_{ct} = 29$$

$$NC(\text{Número de canales}) = \frac{N_{ct}}{2}$$

$$NC = \frac{29}{2}$$

$$NC = 14.5$$

$$A_f(\text{Área del flujo Total}) = \text{Ancho de la placa} \times \text{espesor} \times NC$$

$$A_f = 0.4 m \times 0.0023 m \times 14.5$$

$$A_f = 0.01392 m^2$$

$$GW = \frac{densidad \left(\frac{Kg}{litro} \right) \times Volumen del flujo \left(\frac{litros}{s} \right)}{A_f(m^2)} = \frac{kg}{s m^2}$$

$$GW = \frac{1.007 \frac{Kg}{litro} \times \frac{2998.19 \text{ litros}}{3600 s}}{0.01392 m^2}$$

$$GW = 60.32 \frac{Kg}{s m^2}$$

$$Re = \frac{GW * LC}{\mu} = \frac{GW \left(\frac{KG}{m^2 seg} \right) \times Longitud Caracteristica (m)}{viscosidad \left(\frac{kg}{m s} \right)}$$

$$Re = \frac{60.32 \frac{Kg}{s m^2} \times 0.0048 m}{0.0105735 \frac{kg}{m s}}$$

$$Re = 27.386$$

$$Nu = C \times Re^y \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.348 \times 27.386^{0.663} \times 68.73^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 12.79$$

$$H_{fluido} = \frac{Nu \times k \left(\frac{Watt}{m^{\circ}C} \right)}{Lc(m)} = \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}$$

$$H_f = \frac{12.79 \times 0.6 \frac{Watt}{m^{\circ}C}}{0.0048 m}$$

$$H_f = 1599.36 \frac{Watt}{m^2^{\circ}C}$$

Para el cálculo del Coeficiente Total de transferencia de Calor se reemplazan los datos en la fórmula

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hf} + \frac{1}{hc} + \frac{sp}{Kac} + Ref + Rec}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1599.36} + \frac{1}{2690.63} + \frac{0.0005}{16.3} + 0.000001719 + 0.0000103181}$$

$$U = 961.89 \frac{Watt}{m^2^{\circ}C}$$

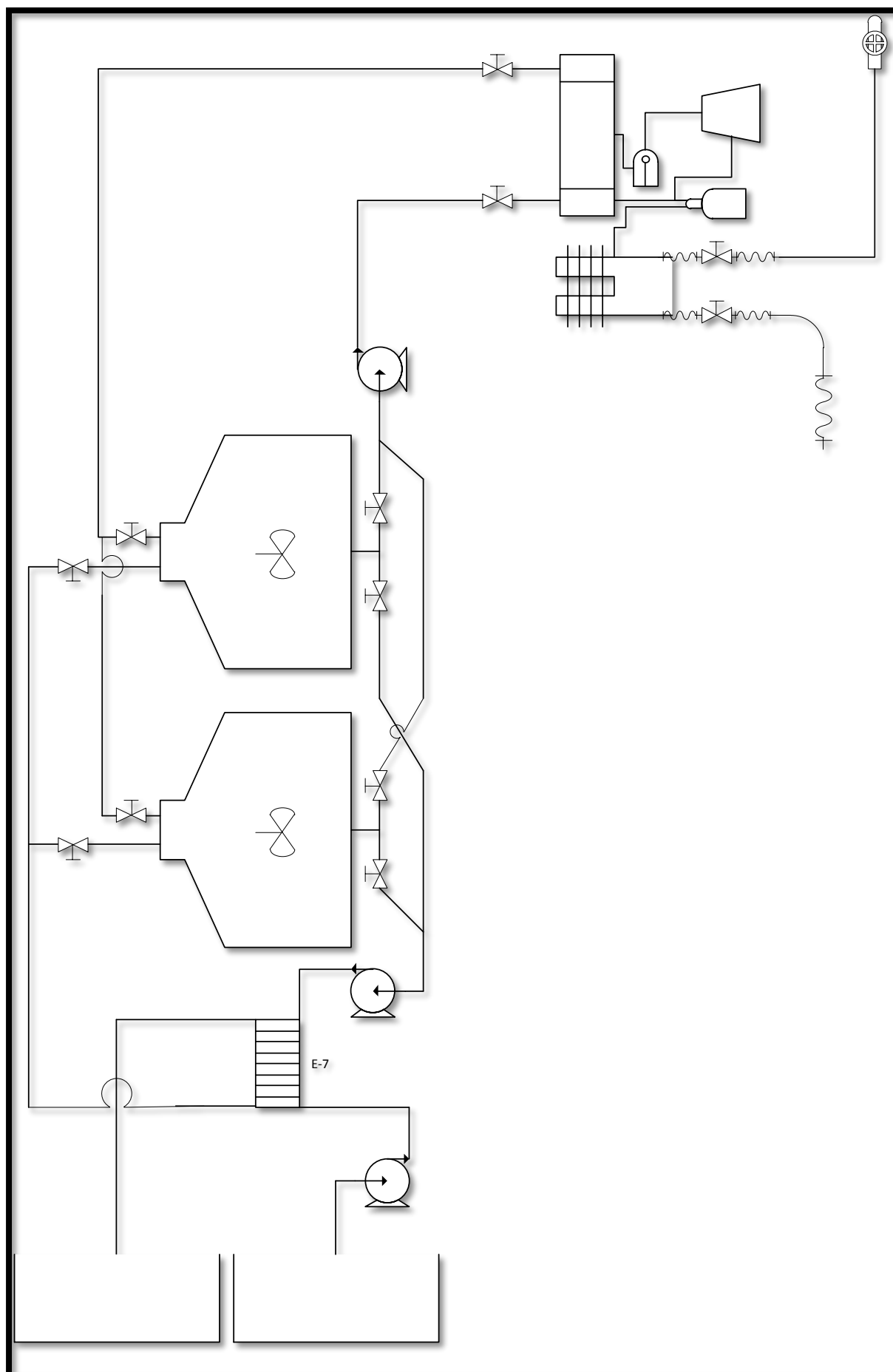
Finalmente se procede al cálculo de área necesaria de intercambio de transferencia de calor con la que contará el intercambiador con la siguiente fórmula:

$$Q = U \times At \times DTLM$$

$$At = \frac{71734.94 Watt}{13.5^{\circ}C \times 961.83 \frac{Watt}{m^2 \times ^{\circ}C}}$$

$$At = 5.52 m^2$$

APÉNDICE 5: Sistema Piloto Propuesto



APÉNDICE 6: Formatos De Las Guías De Pautas

“Aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica para la optimización del proceso de enfriamiento de leche cruda en proveedores y cales”	
Tema Seleccionado:	
Interrogantes:	
1.	
2.	
3.	
Entrevistado:	
Títulos – Grados:	
Centro de Trabajo:	Lugar: Arequipa- Perú
Fecha:	
1. ¿?	
2. ¿?	
3. ¿?	
4. ¿?	
5. ¿?	

APÉNDICE 7: Operacionalización De La Investigación

Operacionalización de la Investigación			
Preguntas Clave	Hipótesis	Instrumentos de la Investigación Usados	Métodos de Análisis de Datos
1. ¿Es posible enfriar la leche cruda con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor desde 38 ° C a una temperatura objetivo dentro del rango de 3 a 5 °C?	La aplicación de un sistema Ice Slurry Bank como propuesta tecnológica permite enfriar la leche cruda a una temperatura inferior a 5°C, la cual es el parámetro máximo del rango térmico adecuado para la refrigeración de la leche cruda (3 a 5 °C).	<ul style="list-style-type: none"> ● Se hará uso del Sistema piloto de enfriamiento Ice Slurry Bank con intercambiadores de calor. ● Formatos elaborados para el registro de los experimentos. ● Una guía de pautas que permitirá el levantamiento de datos para contestar las preguntas elaboradas para la técnica de entrevista personal. ● Diseño experimental con Arreglos Ortogonales 	<ul style="list-style-type: none"> ● Análisis de media y desviación estándar. ● Diseño Taguchi con el software estadístico Minitab. ● Gráficas de control. ● Matriz de enfrentamiento y criterio de selección adaptada al diseño.
2. ¿El enfriamiento de Ice Slurry a través de intercambiadores de calor permitirá una reducción del tiempo necesario para enfriar la leche cruda frente al sistema más utilizado en el sector actualmente?	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica permite reducir el rango de tiempo que toma el proceso de enfriamiento de leche cruda, en comparación a la tecnología más usada en el sector.	<ul style="list-style-type: none"> ● Se hará uso del Sistema piloto de enfriamiento Ice Slurry Bank con intercambiadores de calor. ● Formatos elaborados para el registro de los experimentos. ● Una guía de pautas que permitirá el levantamiento de datos para contestar las preguntas elaboradas para la técnica de entrevista personal. ● Diseño experimental con Arreglos Ortogonales 	<ul style="list-style-type: none"> ● Análisis de media y desviación estándar. ● Comparación con la información recolectada de fuentes bibliográficas

Operacionalización de la Investigación			
Preguntas Clave	Hipótesis	Instrumentos de la Investigación Usados	Métodos de Análisis de Datos
3. ¿El uso de un sistema de enfriamiento con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor permitirá aprovechar de forma eficiente la energía térmica?	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica permite mejorar la productividad parcial del proceso de enfriamiento de leche.	<ul style="list-style-type: none"> • Formatos de fichas de contenido bibliográfico elaboradas para facilitar el manejo de la información. • Una guía de pautas que permitirá el levantamiento de datos para contestar las preguntas elaboradas para la técnica de entrevista personal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de Productividad
4. ¿Con el mismo consumo eléctrico que usan los sistemas actuales de enfriamiento se podrá enfriar una cantidad mayor de leche?	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica permite reducir los costos en cuanto a consumo energético e insumos.	<ul style="list-style-type: none"> • Formatos de fichas de contenido bibliográfico elaboradas para facilitar el manejo de la información. • Una guía de pautas que permitirá el levantamiento de datos para contestar las preguntas elaboradas para la técnica de entrevista personal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo y análisis de consumo y costos por facturación energética. • Indicadores de Productividad

Operacionalización de la Investigación			
Preguntas Clave	Hipótesis	Instrumentos de la Investigación Usados	Métodos de Análisis de Datos
5. ¿La aplicación del sistema de enfriamiento con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor favorecerá a la reducción de costos?	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica permite reducir los costos en cuanto a consumo energético e insumos.	<ul style="list-style-type: none"> • Formatos de fichas de contenido bibliográfico elaborados para facilitar el manejo de la información. • Una guía de pautas que permitirá el levantamiento de datos para contestar las preguntas elaboradas para la técnica de entrevista personal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo y análisis de consumo y costos por facturación energética. • Cálculo y análisis de consumo y costos de insumos.
6. ¿La aplicación del sistema de enfriamiento con Ice Slurry a través de intercambiadores de calor permitirá el aseguramiento de la calidad microbiológica de la leche cruda?	La aplicación de Ice Slurry como propuesta tecnológica impacta positivamente asegurando la calidad microbiológica de la leche cruda, al mantener el producto en una clasificación de "Buena" según la Norma ISO 8553.	<ul style="list-style-type: none"> • Formatos de fichas de contenido bibliográfico elaboradas para facilitar el manejo de la información. • Una guía de pautas que permitirá el levantamiento de datos para contestar las preguntas elaboradas para la técnica de entrevista personal. • Equipos y aparato experimental para medición de Unidades formadoras de Colonia en la leche 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de Calidad • Comparación con la información recolectada de fuentes bibliográficas. • Comparación con la información recolectada en las entrevistas a expertos.

APÉNDICE 8: Recursos necesarios por cada tecnología de enfriamiento

DESCRIPCION \ SUB-PROCESO		SISTEMA ICE SLURRY		
		PRODUCCION ICE SLURRY	PRE-ENFRIAMIENTO	ENFRIAMIENTO
COSTOS VARIABLES	INSUMOS INDIRECTOS	Salmuera 4500 Sal Industrial : •135 Kilos Sal Industrial - Según factor de Flujo.(Capítulo 3-Análisis de costos en base a insumos y consumo energético, Tabla 84) • 4365 litros de Agua - Según Balance de Materia (Capítulo 3-Análisis de costos en base a insumos y consumo energético, Tabla 84)	-	-
	SERVICIOS	Agua de Red Consumo de Energía Eléctrica		
COSTOS FIJOS	MANO DE OBRA	1 operario 1 supervisor		
	INVERSION (MAQUINARIA Y EQUIPO)	Maquina Ice Slurry Intercambiador PHE Pre- enfriamiento y enfriamiento Tuberías Termómetros Flujómetros Bomba centrífuga 3000 litros/hora Bomba centrífuga 5000 litros/hora Bomba centrífuga 7000 litros/hora Tanque Interior Acero Inoxidable almacenamiento Ice Slurry Tanque de pesaje y almacenamiento leche (1000 Litros)		

DESCRIPCION SUB-PROCESO		BANCOS DE HIELO		
		PRODUCCION DE HIELO	PRE-ENFRIAMIENTO	ENFRIAMIENTO
COSTOS VARIABLES	INSUMOS INDIRECTOS	Agua 9900Litros - Según Balance de materia (Capitulo 3- Análisis de costos en base a insumos y consumo energético, Tabla 86)	-	-
	SERVICIOS	Agua de Red Consumo de Energía Eléctrica		
COSTOS FIJOS	MANO DE OBRA	1 operario 1 supervisor		
	INVERSION (MAQUINARIA Y EQUIPO)	Banco de hielo Intercambiador PHE Pre - enfriamiento y enfriamiento Tuberías Acero Inoxidable 1' Termómetros Flujómetros Bomba centrífuga 3000 litros/hora Bomba centrífuga 11000 litros/hora Tanque de almacenamiento de agua Tanque de pesaje y almacenamiento leche (1000 Litros)		

DESCRIPCION / SUB-PROCESO		PANZAS FRIAS	
		PRE-ENFRIAMIENTO	ENFRIAMIENTO
COSTOS VARIABLES	INSUMOS INDIRECTOS	-	-
	SERVICIOS	Consumo de Energía Eléctrica	
COSTOS FIJOS	MANO DE OBRA	1 operario	
	INVERSION (MAQUINARIA Y EQUIPO)	Panza Fría Beyond BZLG-8 (19.6 hp) Intercambiador Pre - enfriamiento Tuberías Termómetros Flujómetros Bomba	

- **CÁLCULO DE COSTOS POR MANO DE OBRA**

Mano de Obra											
Personal	Sueldo	Cantidad	Mensual	Anual	EsSalud (9%)	CTS 33%	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Supervisor	S/1,500.00	S/ 1.00	S/1,500.00	S/21,000.00	S/ 1,890.00	S/ 6,930.00	S/29,820.00	S/29,820.00	S/29,820.00	S/29,820.00	S/29,820.00
Operador de procesos	S/ 930.00	S/ 1.00	S/ 930.00	S/13,020.00	S/ 1,171.80	S/ 4,296.60	S/18,488.40	S/18,488.40	S/18,488.40	S/18,488.40	S/18,488.40
Total	S/2,430.00	S/ 2.00	S/2,430.00	S/34,020.00	S/ 3,061.80	S/11,226.60	S/48,308.40	S/48,308.40	S/48,308.40	S/48,308.40	S/48,308.40

- **CÁLCULO DE COSTOS POR INSUMOS**

Costos de Insumos										
Máquina de frío	Insumo	Precio	Cantidad	Costo	Costo Anual	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ice Banks	Agua	2.42 S/. /m3	9.9 m3/semestre	S/ 23.93	S/ 47.86	S/ 47.86	S/ 47.86	S/ 47.86	S/ 47.86	S/ 47.86
Total					S/ 47.86	S/ 47.86	S/ 47.86	S/ 47.86	S/ 47.86	S/ 47.86
Ice Slurry Banks	Sal	0.24 S/. /Kg	135 Kg/año	S/ 32.40	S/ 32.40	S/ 32.40	S/ 32.40	S/ 32.40	S/ 32.40	S/ 32.40
Ice Slurry Banks	Agua	2.42 S/. /m3	4.365 m3/ año	S/ 10.55	S/ 10.55	S/ 10.55	S/ 10.55	S/ 10.55	S/ 10.55	S/ 10.55
Total			4500 Kg/año		S/ 42.95	S/ 42.95	S/ 42.95	S/ 42.95	S/ 42.95	S/ 42.95

Los costos de la sal industrial están especificados en el Anexo 9: Cotización Sal Industrial.

• **CÁLCULO DE COSTOS DE INVERSIÓN POR TECNOLOGIA (MAQUINARIA Y EQUIPOS)**

Inversión Panzas Frías(Maquinaria y Equipos)					
Descripción	Cantidad	Precio (s/.)	Costo Total	N° Referencia	Link
Panza Fría Beyond BZLG-8 (19.6 hp)	1	S/ 49,297.50	S/ 49,297.50	5	https://spanish.alibaba.com/product-detail/5000L-stainless-steel-refrigerated-milk-chilling-60594333455.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.24.62654a7fnCnbg9
Intercambiador Pre-enfriamiento	1	S/ 5,258.40	S/ 5,258.40	66	https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Control_Regulacion_Calor_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf
Tuberías	10	S/ 41.09	S/ 543.44	8	https://www.amazon.es/Tubo-acero-inoxidable-barandilla-25/dp/B07RN86WSQ/ref=sr_1_25?qid=1562678292&s=industrial&sr=1-25&th=1
Termómetros	6	S/ 25.81	S/ 154.86	8	https://www.amazon.es/MagiDeal-Interruptor-Term%C3%B3metro-Term%C3%B3stato-Temperatura/dp/B07DHHJB22/ref=sr_1_36?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=82FTANG7H0EH&keywords=termometro+digital+industrial&qid=1562679379&s=gateway&srefix=termometro+digital+ind%2Caps%2C376&sr=8-36
Flujómetros	3	S/ 365.00	S/ 1,095.00	8	https://www.amazon.es/Tutoy-Zj-Lcd-M-Cuantitativo-Fluj%C3%B3metro-Electrov%C3%A1lvula/dp/B074SJRLLY/ref=sr_1_7?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=flujometro+agua&qid=1562679116&s=gateway&sr=8-7
Bomba	1	S/ 989.43	S/ 989.43	8	https://www.amazon.es/electrobomba-centr%C3%ADfuga-bigirante-unidades-serie/dp/B00DQDR8HG/ref=sr_1_fkmr0_1?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=bomba+centrifuga+1+kw&qid=1562680197&s=gateway&sr=8-1-fkmr0

Inversión Bancos de Hielo(Maquinaria y Equipos)					
Descripción	Cantidad	Precio (s/.)	Costo Total	Referencia	Link
Banco de hielo	1	S/59,157.00	S/59,157.00	5	https://www.alibaba.com/product-detail/cold-storage-box-cardboard-freezer-boxes_62032025197.html?spm=a2700.7724838.2017115.102.6243bf62C4a9VJ
Intercambiador PHE Pre-enfriamiento y enfriamiento	1	S/27,700.00	S/27,700.00	66	https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Control_Regulacion_Calor_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf
Tuberías Acero Inoxidable 1'	20	S/ 41.09	S/ 954.34	8	https://www.amazon.es/Tubo-acero-inoxidable-barandilla-25/dp/B07RN86WSQ/ref=sr_1_25?qid=1562678292&s=industrial&sr=1-25&th=1
Termómetros	6	S/ 25.81	S/ 154.86	8	https://www.amazon.es/MagiDeal-Interruptor-Term%C3%B3metro-Term%C3%B3stato-Temperatura/dp/B07DHHJB22/ref=sr_1_36?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&crd=82FTANG7H0EH&keywords=termometro+digital+industrial&qid=1562679379&s=gateway&sprefix=termometro+digital+ind%2Caps%2C376&sr=8-36
Flujómetros	3	S/ 365.00	S/ 1,095.00	8	https://www.amazon.es/Tutoy-Zji-Lcd-M-Cuantitativo-Fluj%C3%B3metro-Electrov%C3%A1lvula/dp/B074SJRLLY/ref=sr_1_7?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=flujometro+agua&qid=1562679116&s=gateway&sr=8-7
Bomba centrífuga 3000 litros/hora	1	S/ 989.43	S/ 989.43	8	https://www.amazon.es/electrobomba-centr%C3%ADfuga-bigirante-unidades-serie/dp/B00DQDR8HG/ref=sr_1_fkmr0_1?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=bomba+centrifuga+1+kw&qid=1562680197&s=gateway&sr=8-1-fkmr0
Bomba centrífuga 11000 litros/hora	1	S/ 4,753.48	S/ 4,753.48	8	https://www.amazon.es/Bomba-centrifuga-rodete-Trifasico-Calpeda/dp/B01FKK9VVI/ref=sr_1_105?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=bomba+centrifuga&qid=1562680869&s=gateway&sr=8-105
Tanque de almacenamiento de agua	2	S/ 3,000.00	S/ 6,000.00	5	https://spanish.alibaba.com/product-detail/polyethylene-plastic-water-container-plastic-water-storage-tanks-water-tanks-10000-litre-60745429237.html?spm=a2700.8699010.normalList.52.86f770b8wjfTWF
Tanque de pesaje y almacenamiento de leche (1000 Litros)	4	S/ 2,000.00	S/ 8,000.00	5	https://spanish.alibaba.com/product-detail/food-grade-min-type-milk-storage-tank-291235681.html?spm=a2700.8699010.normalList.95.5e703d3eXiyxWq

Inversión Ice Slurry(Maquinaria y Equipos)					
Descripción	Cantidad	Precio (s/.)	Costo Total	Nº Referencia	Link
Máquina Ice Slurry	1	S/ 41,000.00	S/ 41,000.00	5	https://www.alibaba.com/product-detail/CSCPOWER-slurry-ice-machine-liquid-ice_60416186326.html?spm=a2700.7724857.normalList.217.84e0596dTIZ1Xp
Intercambiador PHE Pre-enfriamiento y enfriamiento	1	S/ 27,700.00	S/ 27,700.00	66	https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Control_Regulacion_Calor_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf
Tuberías	20	S/ 41.09	S/ 954.34	8	https://www.amazon.es/Tubo-acero-inoxidable-barandilla-25/dp/B07RN86WSQ/ref=sr_1_25?qid=1562678292&s=industrial&sr=1-25&th=1
Termómetros	6	S/ 25.81	S/ 154.86	8	https://www.amazon.es/MagiDeal-Interruptor-Term%C3%B3metro-Term%C3%B3stato-Temperatura/dp/B07DHHJB22/ref=sr_1_36?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&crd=82FTANG7H0EH&keywords=termometro+digital+industrial&qid=1562679379&s=gateway&sprefix=termometro+digital+ind%2Caps%2C376&sr=8-36
Flujómetros	3	S/ 365.00	S/ 1,095.00	8	https://www.amazon.es/Tutoy-Zj-Lcd-M-Cuantitativo-Fluj%C3%B3metro-Electrov%C3%A1lvula/dp/B074SJRLLY/ref=sr_1_7?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=flujometro+agua&qid=1562679116&s=gateway&sr=8-7
Bomba centrífuga	1	S/ 989.43	S/ 989.43	8	https://www.amazon.es/electrobomba-centr%C3%ADfuga-bigirante-unidades-serie/dp/B00DQDR8HG/ref=sr_1_fkmr0_1?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=bomba+centrifuga+1+kw&qid=1562680197&s=gateway&sr=8-1-fkmr0
Bomba centrífuga 5000 litros/hora	1	S/ 780.86	S/ 780.86	8	https://www.amazon.es/electrobomba-centr%C3%ADfuga-autocebante-monof%C3%A1sico-jp5-grundfos/dp/B07KXQMV7G/ref=sr_1_1?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=bomba+centrifuga+0.85+kw&qid=1562680568&s=gateway&sr=8-1
Bomba centrífuga 7000 litros/hora	1	S/ 1,417.70	S/ 1,417.70	8	https://www.amazon.es/Electrobomba-centr%C3%ADfuga-oscilante-Lowara-serie/dp/B00DQDR8U8/ref=sr_1_2?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=bomba+centrifuga+1+kw&qid=1562680197&s=gateway&sr=8-2
Tanque Interior Acero Inoxidable almacenamiento	4	S/ 2,000.00	S/ 8,000.00	5	https://spanish.alibaba.com/product-detail/food-grade-min-type-milk-storage-tank-291235681.html?spm=a2700.8699010.normalList.95.5e703d3eXiyxWq
Tanque de pesaje y almacenamiento de leche (1000 Litros)	4	S/ 2,000.00	S/ 8,000.00	5	https://spanish.alibaba.com/product-detail/food-grade-min-type-milk-storage-tank-291235681.html?spm=a2700.8699010.normalList.95.5e703d3eXiyxWq